

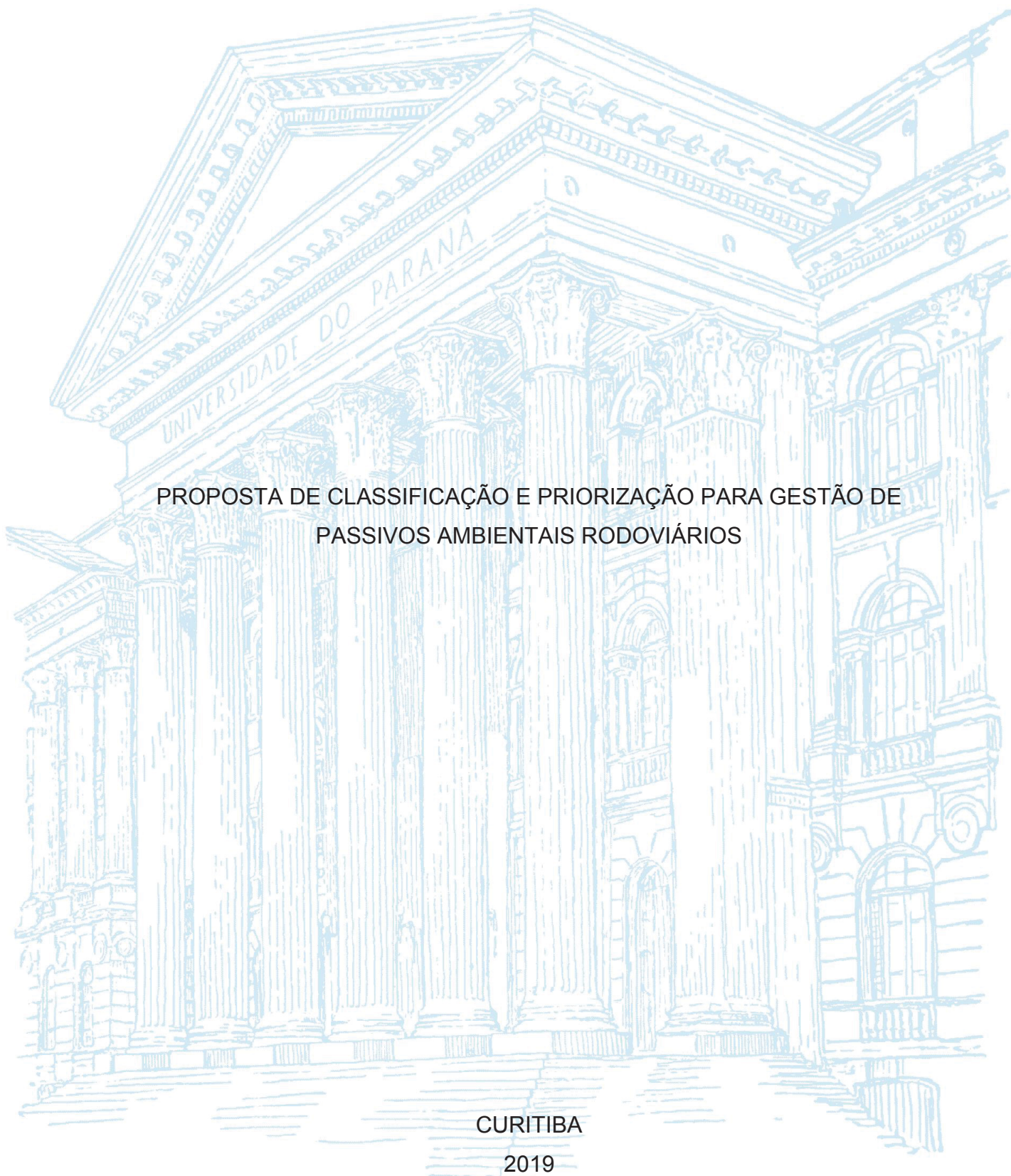
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

AMANDA CHRISTINE GALLUCCI SILVA

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO PARA GESTÃO DE
PASSIVOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS

CURITIBA

2019



AMANDA CHRISTINE GALLUCCI SILVA

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO PARA GESTÃO DE
PASSIVOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, área de concentração em Geotecnia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Larissa de Brum Passini.

CURITIBA

2019

S8586

Silva, Amanda Christine Gallucci

Proposta de classificação e priorização para gestão de passivos ambientais rodoviários [recurso eletrônico] / Amanda Christine Gallucci Silva, 2019.

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, área de concentração em Geotecnia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil
Orientadora: Profa. Dra. Larissa de Brum Passini.

1. Rodovias – aspectos ambientais. 2. Passivos ambientais. 3. Gestão ambiental. I. Universidade Federal do Paraná. II. Passini, Larissa de Brum. III. Título

CDD 628



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL - 40001016049P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **AMANDA CHRISTINE GALLUCCI SILVA** intitulada: **PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO PARA GESTÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS**, sob orientação da Profa. Dra. LARISSA DE BRUM PASSINI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 13 de Dezembro de 2019.

Larissa de Brum Passini
LARISSA DE BRUM PASSINI

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Larissa de Brum Passini
Dpto. de Construção Civil/UFPR
Professor do Pós-Graduação
Matrícula UFPR 205582

Liamara Paglia Sestrem
LIAMARA PAGLIA SESTREM

Avaliador Externo (null)

Alessander Christopher Morales Kormann

ALESSANDER CHRISTOPHER MORALES KORMANN
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Andrés Miguel González Acevedo

ANDRÉS MIGUEL GONZÁLEZ ACEVEDO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço pelas oportunidades que me engrandecem e pelas dificuldades que me fortalecem. Principalmente, agradeço por ser filha do meu pai, Walter Silva Junior, que será sempre a melhor parte de mim.

Agradeço também a todos que estiveram presentes e contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa:

A minha orientadora, Profa. Dra. Larissa de Brum Passini, pela orientação e confiança.

Ao Prof. Dr. Eduardo Ratton, pelos ensinamentos, pela confiança e pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa.

Ao Eng. M.Sc. Cristhyano Cavali da Luz, pela amizade e por me convidar a desenvolver a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Vítor Pereira Faro, pela amizade e por despertar o meu encanto pela engenharia geotécnica.

Aos meus amigos do mestrado, que não poderiam ser melhores: Isabela Grossi da Silva, Isabel Salah, Leandro Guideli, Marianne Neves e Renatielly Silva.

Às minhas amigas Isabela Grossi da Silva e Carolina Castro Cittadin por me inscreverem no mestrado.

Aos meus amigos Alexandre Ramalho, Jordana Furman, Juliana Hreczuck e Dyeison Mlenek por me auxiliarem em alguns momentos na pesquisa.

Aos meus colegas de trabalho no Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura (ITTI/UFPR).

*Milhares de velas podem ser iluminados a
partir de uma única, e a vida da vela não
será encurtada. A felicidade nunca diminui
sendo compartilhada.*

Buda

RESUMO

O modal rodoviário tem importância primordial nas interações comerciais e sociais mundial. Nesse contexto, a matriz de transporte brasileira é majoritariamente constituída por rodovias. Porém, grande parte delas foi construída anteriormente à Lei Federal nº 6.938 de 1981, que estabelece a necessidade de licenciamento ambiental, para empreendimentos potencialmente poluidores. Desse modo, é possível encontrar ao longo das rodovias federais, não conformidades ambientais que se caracterizam como débitos para com a sociedade e o ambiente, podendo esses ser chamados de passivos ambientais. Tais passivos, quando de natureza física e/ou material, necessitam de obras da engenharia, em geral do ramo da geotecnia, para mitigação. Cabe ao responsável pela rodovia identifica-lo e recupera-lo. Muitos passivos proporcionam um perigo instalado ou eminente, principalmente aos usuários da rodovia, à população lindeira e ao meio ambiente em que está inserido. Devido à quantidade de passivos existente na malha rodoviária federal, justifica-se realizar um planejamento de investimento, a fim de realizar uma gestão de passivos ambientais. A presente dissertação de mestrado propõe um modelo de gestão de passivos ambientais rodoviários, através de um método de classificação e um método de priorização. São aplicadas e consolidados os métodos propostos em um banco de dados de aproximadamente 187 passivos. O produto do estudo em questão se destaca por abordar de forma unificada todos os fatores que se julgaram pertinentes em uma priorização de passivos ambientais rodoviários, bem como por realizar uma análise crítica dos resultados. Desse modo, é possível estabelecer um modelo conciso para realizar a gestão das não conformidades existentes na malha rodoviária nacional, principalmente nos trechos não concessionados, e, assim, diminuir o risco de acidentes e auxiliar na administração de recursos públicos.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Rodovias. Gestão de riscos. Movimentos de massa. Processos erosivos.

ABSTRACT

Road transport is of prime importance in world trade and social interactions. In this context, the Brazilian transportation system is constituted mostly by highways. However, most of these were built before the approval of Federal Law No. 6,938 in 1981, which establishes the necessity of environmental licensing for potentially polluting enterprises. Thus, it is possible to find environmental nonconformities that are characterized as debts to society and the environment along federal highways. These may be called environmental liabilities. When liabilities are physical and / or material, geotechnical engineering works are needed for mitigation. The identification and recovery of such problems are the responsibility of the highway's management. Many liabilities pose installed or imminent danger, especially to road users, the surrounding population and the environment in which they operate. The great amount of liabilities that exist in the federal road network justify an investment plan that will allow their proper management. Thus, this work proposes a management model of road environmental liabilities, through classification and a prioritization methodologies. The proposed methodologies are applied and consolidated in a database of approximately 187 liabilities. The product of this study stands out for addressing in a unified manner all the factors determined as relevant in the prioritization of road environmental liabilities, as well as for conducting a critical analysis of the results. Therefore, it is possible to establish a concise model to manage the existing non-conformities in the national road network, especially in non-concession stretches. Thus, reducing the risk of accidents and assisting in the administration of public resources.

Keywords: Environmental impacts. Highways Risk management. Mass movements. Erosive processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Queda de blocos e deslizamento na BR-116 MG	19
Figura 1.2 – Acidente ocasionado por escorregamento de talude rodoviário	20
Figura 2.1 – Vazios no solo (macro, meso e microporos)	40
Figura 2.2 – Infiltração em camadas de solos com diferentes permeabilidades	40
Figura 2.3 – Esquema da produção do fluxo superficial hortoniano e surgimento do canal erosivo	41
Figura 2.4 – Taxa de infiltração em diferentes tipos de solo de acordo com Withers e Vipond (1974).....	44
Figura 2.5 – Possíveis formas dos perfis de maciços	47
Figura 2.6 – Exemplo de talude apresentando erosão uniforme	51
Figura 2.7 – Exemplo de talude apresentando erosão com sulcos	53
Figura 2.8 – Perfil longitudinal de erosão em sulcos	53
Figura 2.9 – Exemplo de talude apresentando erosão em corte com sulcos e ravinas	54
Figura 2.10 – Exemplo de talude apresentando erosão em corte com sulcos, ravinas e voçorocas	55
Figura 2.11 – Croqui de erosão longitudinal em plataforma.....	56
Figura 2.12 – Exemplo de erosão em plataforma.....	57
Figura 2.13 – Croqui de erosão associada a obras de drenagem.....	58
Figura 2.14 – Croqui de erosão diferenciada	58
Figura 2.15 – Exemplo de erosão diferenciada em corte	59
Figura 2.16 – Ruptura por escorregamento rotacional	69
Figura 2.17 – Exemplo de Talude de corte apresentando escorregamento rotacional	70
Figura 2.18 – Indicação da superfície de deslizamento do talude do talude de corte	70
Figura 2.19 – Ruptura por escorregamento translacional	71
Figura 2.20 – Ruptura por queda de blocos	72
Figura 2.21 – Exemplo de queda de blocos	73
Figura 2.22 – Deformação no pavimento indicando recalque	76
Figura 2.23 – As fases do solo: (a) no estado natural; (b) separada em volume e peso; (c) em função do volume e do peso	77

Figura 2.24 – Exemplo de erosão em talude de aterro associada ao sistema de drenagem	84
Figura 3.1 – Metodologia da pesquisa	92
Figura 3.2 – Metodologia de formulação da classificação de passivos ambientais rodoviários.....	93
Figura 3.3 – Metodologia de formulação da classificação de passivos ambientais rodoviários físicos e/ou materiais	94
Figura 3.4 – Definição dos elementos da equação de priorização	96
Figura 3.5 – Localização dos trechos em que foram realizados levantamento de dados	103
Figura 3.6 – Ficha de Levantamento de Passivos Ambientais para Rodovias em Operação - FILPAR.....	105
Figura 4.1 – Postos de contagem de tráfego do ano de 2017 utilizados da PNCT .	120
Figura 4.2 – Mapa de classificação da importância das rodovias federais.....	122
Figura 4.3 – Representação das rodovias federais com informações e sem informações de contagem de tráfego	123
Figura 4.4 – Mapa da superfície de extrapolação	124
Figura 4.5 – Ligações mais frequentes entre municípios por transporte rodoviário em 2016	126
Figura 4.6 – Produções agrícolas municipais em 2018.....	127
Figura 4.7 – Distribuição do banco de dados com base na classificação de passivos	134
Figura 4.8 – Gráfico de distribuição normal do IP dos passivos.....	135
Figura 4.9 – Regiões de maior criticidade ao longo da BR 116	137
Figura 4.10 – Análise dos passivos estudados de acordo com a importância da rodovia	140
Figura 4.11 – Distribuição da estimativa monetária para recuperar os passivos da BR 116	149
Figura 4.12 – Distribuição dos valores do IP dos passivos classificados como “Erosão uniforme”	150
Figura 4.13 – Distribuição dos valores do IP dos passivos classificados como “Erosão concentrada”	150
Figura 4.14 – Distribuição dos valores do IP dos passivos classificados como “Queda de blocos”, “Escorregamento rotacional”, “Escorregamento planar”	151

Figura 4.15 – Detalhamento das regiões de maior criticidade	153
---	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Impactos socioambientais para empreendimentos rodoviários	16
Quadro 2.1– Classificação de passivos pelo DNIT (2006) quadro “a”	28
Quadro 2.2 – Classificação de passivos pelo DNIT (2006) quadro “b”	29
Quadro 2.3 – Classificação de passivos por Blasi (Grupo I) (2014)	30
Quadro 2.4 – Classificação de passivos por Blasi (Grupo II) (2014)	31
Quadro 2.5 – Classificação de passivos por Blasi (Grupo III) (2014)	32
Quadro 2.6 – Variáveis para determinar o IP do passivo pelo método DER (2007) ..	36
Quadro 2.7 – Variáveis para determinar o IP do passivo por Blasi (2014)	37
Quadro 2.8 – Fatores condicionantes dos processos erosivos	39
Quadro 2.9 – Classificação de voçorocas por Fendrich (1977)	48
Quadro 2.10 – Classificação de erosão do Manual de Geotecnia do DER/SP (1991)	49
Quadro 2.11 – Classificação de erosão proposta por Blasi (2014)	50
Quadro 2.12 – Classificação de movimentos de massa por Freire (1965)	65
Quadro 2.13 – Classificação de movimentos de massa por Varnes (1978)	66
Quadro 2.14 – Classificação de movimentos de massa por Augusto Filho (1998) ...	67
Quadro 2.15 – Classificação do Manual de Geotecnia do DER/SP (1991)	68
Quadro 2.16 – Classificação de subsidências proposta por Freire (1965)	82
Quadro 4.1 – Classificação dos passivos físicos e/ou materiais	107
Quadro 4.2 – Causas associadas à classificação do passivo	110
Quadro 4.3 – Causas associadas à classificação do passivo	111
Quadro 4.4 – Causas associadas à classificação do passivo	112
Quadro 4.5 – Valoração da Abrangência	128
Quadro 4.6 – Valoração da Magnitude	129
Quadro 4.7 – Valoração da Interferência	130
Quadro 4.8 – Valoração preliminar das consequências	131
Quadro 4.9 – Valoração preliminar da abrangência	131
Quadro 4.10 – Cadastramento do passivo MG 142	141
Quadro 4.11 – Cadastramento do passivo MG 194	144
Quadro 4.12 – Cadastramento do passivo MG 147	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Matriz do IP pelo método do DNIT	34
Tabela 2.2 – Escala de importância numérica.....	85
Tabela 2.3 – Matriz de comparação pareada a partir da metodologia AHP	86
Tabela 2.4 – Valores de Índice Randômico.....	87
Tabela 2.5 – Porcentagens de área entre um intervalo da Distribuição Normal.....	89
Tabela 3.1 – Tabela utilizada para o definição da equação de prioridade	96
Tabela 4.1 – Matriz de comparação pareada para os critérios definidos	113
Tabela 4.2 – Valoração da probabilidade.....	116
Tabela 4.3 – Valoração da consequência	117
Tabela 4.4 – Matriz de Importância das rodovias federais	118
Tabela 4.5 – Atributos da Matriz de importância	119
Tabela 4.6 – Valoração do Volume médio anual diário.....	121
Tabela 4.7 – Valoração da porcentagem de tráfego pesado.....	121
Tabela 4.8 – Distribuição dos resultados na valoração preliminar da abrangência.....	132
Tabela 4.9 – Distribuição dos resultados na valoração final da abrangência	132
Tabela 4.10 – Distribuição dos resultados na valoração final da magnitude.....	132
Tabela 4.11 – Simulação de priorização	138
Tabela 4.12 – Estimativa orçamentária para recuperar o passivo MG 142.....	143
Tabela 4.13 – Estimativa orçamentária para recuperar o passivo MG 194.....	145
Tabela 4.14 – Estimativa orçamentária para recuperar o passivo MG 147	147
Tabela 4.15 – Simulação de gestão de passivos ambientais.....	148

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVO.....	21
1.2.1	Objetivos específicos.....	21
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	PASSIVOS AMBIENTAIS.....	23
2.1.1	Classificação de passivos.....	26
2.1.2	Priorização de recuperação.....	32
2.2	INSTABILIDADES GEOTÉCNICAS	38
2.2.1	Processos erosivos.....	38
2.2.1.1	Erosão uniforme	50
2.2.1.2	Erosão concentrada.....	51
2.2.2	Movimentos de massa gravitacionais	59
2.2.2.1	Escorregamento Rotacional	68
2.2.2.2	Escorregamento Translacional	71
2.2.2.3	Quedas de bloco/tombamento.....	72
2.2.2.4	Corrida 73	
2.2.2.5	Rastejo 75	
2.2.3	Deslocamentos verticais.....	76
2.2.3.1	Compactação	82
2.2.3.2	Adensamento	83
2.2.3.3	Desmoronamento	83
2.3	AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO	85
2.4	FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS	87
2.4.1	Princípio de Pareto	87
2.4.2	Distribuição normal.....	88
3	MATERIAIS E MÉTODOS	90
3.1	CARACTERÍSTICA DA PESQUISA	90
3.2	METODOLOGIA.....	91
3.2.1	Metodologia para classificação.....	93

3.2.2	Metodologia de priorização.....	95
3.2.3	Metodologia para Importância das rodovias	97
3.2.4	Metodologia do modelo de gestão.....	99
3.3	LEVANTAMENTO E COMPILAÇÃO DE DADOS.....	102
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	106
4.1	CLASSIFICAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS	106
4.2	GESTÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS	112
4.2.1	ÍNDICE DE PRIORIDADE	113
4.2.1.1	Risco 115	
4.2.1.2	Importância da rodovia	117
4.2.1.3	Grandeza.....	128
4.2.1.4	Interferência no tráfego e Temporalidade.....	129
4.2.2	ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA.....	130
4.2.3	SIMULAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO.....	133
4.2.3.1	Cadastro do banco de dados.....	133
4.2.3.2	Metodologia de priorização.....	134
4.2.3.3	Estudos de caso	138
4.2.3.4	Discussões das ferramentas de gestão.....	148
4.2.3.5	Simulação de planos de recuperação.....	152
4.3	FICHA DE REGISTRO	154
5	CONCLUSÕES	155
5.1	MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO	155
5.2	MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO	155
5.3	MODELO DE GESTÃO	157
5.4	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	159
	REFERÊNCIAS.....	160
	APÊNDICE 1 – TABELA DE CÁLCULO DO IP	167
	APÊNDICE 2 – <i>RANKING</i> DE PRIORIZAÇÃO	172
	APÊNDICE 3 – FICHA DE REGISTRO	177

1 INTRODUÇÃO

O modal rodoviário, atualmente, é o mais utilizado no mundo, bem como no Brasil, exercendo um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico global. As rodovias atuam como infraestrutura para o transporte de cargas, como, por exemplo, produtos agrícolas, pecuários e industriais, e também para o transporte de pessoas, proporcionando acesso a bens e serviços.

A importância econômica e política de uma nação é influenciada diretamente pela sua balança comercial, e, conseqüentemente, é influenciada diretamente por sua matriz de transporte. Porém, em meio ao crescimento exponencial econômico, ao qual a sociedade está atualmente condicionada, há a necessidade de atentar-se as questões socioambientais, visando o desenvolvimento sustentável. Desse modo, os órgãos ambientais atuam como gestor da qualidade ambiental e dos riscos, principalmente, por meio da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA).

A AIA envolve uma série de procedimentos legais e técnico-científicos interdisciplinares e possui como intuito principal identificar, mensurar e valorar a importância dos impactos decorrentes do planejamento, instalação, operação e possível desativação de um empreendimento.

Os impactos podem envolver um ou mais componentes ambientais, sendo eles: meio físico, meio biótico e meio socioeconômico. Medidas ambientais podem ser adotadas a fim de atenuá-los, podendo ser elas de caráter preventivo, corretivo ou compensatório.

Em relação aos impactos socioambientais que um empreendimento rodoviário possa vir a ter, Sánchez (2015) apresenta uma lista de acordo com o ciclo de vida da infraestrutura (Quadro 1.1). Alguns impactos listados sob o meio físico durante a fase de implantação, necessitam de obras de engenharia, envolvendo a geotecnia, como medida corretiva ou preventiva, como por exemplo: “intensificação dos processos erosivos” e “indução de escorregamentos e outros movimentos de massa”.

Quadro 1.1 – Impactos socioambientais para empreendimentos rodoviários

Fase de planejamento
Criação de expectativas e inquietação junto à população; Especulação imobiliária; Abandono ou redução das atividades agropecuárias.
Fase de implantação
Modificação do relevo e da paisagem; Perda de solos protegidos (dunas, mangues etc.); Intensificação dos processos erosivos; Indução de escorregamentos e outros movimentos de massa; Aumento da carga de sedimentos e assoreamento de corpos d'água; Represamento parcial de cursos d'água; Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas; Alteração das propriedades físicas e biológicas do solo; Alteração da qualidade do ar; Alteração do ambiente sonoro; Risco de poluição da água e do solo com substâncias químicas; Destruição e fragmentação de habitats da vida selvagem; Perda e fuga de espécimes da fauna; Soterramento de comunidades bentônicas; Criação de ambientes lóticos; Modificação na cadeia alimentar Alteração das formas de uso do solo; Alteração ou perda de sítios arqueológicos e outros elementos do patrimônio histórico e cultural; Redução ou perda de recursos minerais economicamente importantes; Impacto visual; Segregação urbana; Deslocamento de pessoas e atividades econômicas; Aquecimento do mercado imobiliário; Aumento da oferta de empregos; Aumento da demanda de bens e serviços; Aumento da arrecadação tributária.
Fase de operação
Alteração da qualidade do ar; Alteração do ambiente sonoro; Alteração da qualidade das águas superficiais; Risco de poluição da água e do solo com substâncias químicas; Estresse sobre vegetação natural devido à poluição do ar; Perda de espécimes da fauna por atropelamento; Valorização e desvalorização imobiliária; Adensamento da ocupação nas margens e área de influência; Aumento do tráfego nas vias interconectadas; Interferência com caminhos e passagens preexistentes.
Fase de desativação
Redução das oportunidades de trabalho; Redução da arrecadação tributária.

Fonte: Sánchez, 2015.

Quando não é adotada uma medida de caráter preventivo ou de caráter corretivo, evitando que o impacto ocorra durante a fase de implantação ou que seja mitigado, há um débito para com a sociedade e meio ambiente.

No contexto de impactos ambientais, grande parte das rodovias brasileiras foi implantada anteriormente à Lei Federal nº 6.938 de 1981 que estabelece a necessidade de licenciamento ambiental para empreendimentos potencialmente poluidores. Desse modo, ao longo das rodovias federais encontram-se ocorrências ambientais que não foram mitigadas ao longo da implantação da rodovia, ou até mesmo ao decorrer da operação e de obras de manutenção. Tais ocorrências são conceituadas como passivos ambientais.

O Decreto nº 4.340/2002 (BRASIL, 2002) impôs a obrigatoriedade da regularização ambiental da malha rodoviária federal e indicou a necessidade de obtenção de licenças ambientais de operação de todos os empreendimentos rodoviários, implantados anteriormente a 2002, no prazo de doze meses a partir da sua publicação. Por conta disso, atualmente, o país necessita adequar mais de 56.000 km de sua malha rodoviária.

No ano de 2004, o Ministério do Meio Ambiente e o Ministério dos Transportes assinaram a Portaria Interministerial nº 273/2004, com o objetivo adequar a malha rodoviária federal já implantada às normas ambientais de modo a compatibilizá-la com a necessidade de sua conservação, manutenção, restauração e melhorias permanentes, considerando: o fato de que os principais impactos ambientais foram ocasionados durante o processo de implantação, o alto índice de acidentes registrados, os prejuízos socioeconômicos decorrentes do atual estado de conservação da malha viária e a necessidade premente de manutenção e restauração da malha viária federal, em conformidade com as exigências ambientais (BRASIL, 2004).

Em sequência, por meio de outra Portaria Interministerial dos Ministérios do Meio Ambiente e dos Transportes (nº 423/2011), foi instituído o Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis (PROFAS), que tem por finalidade promover a elaboração e execução dos projetos e atividades necessários à regularização ambiental das rodovias federais pavimentadas que não possuam licença ambiental.

A Portaria nº 423 responsabiliza o órgão rodoviário nacional, ou seja, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), pelo planejamento, execução e articulação institucional do PROFAS e determina, em seu artigo 4º, o prazo de até 360 dias para que os responsáveis pelas rodovias federais pavimentadas e em operação, sem licenciamento ambiental, firmem Termo de Compromisso com o IBAMA para a apresentação de Relatórios de Controle Ambiental (RCAs), que

subsidiarão as ações de regularização ambiental. Para tanto, é necessário que os documentos de gerenciamento e supervisão ambiental representem objetivamente os passivos ambientais de rodovias em operação, proporcionando a sua quantificação e qualificação.

Diante das regulamentações ambientais vigentes, e levando em consideração o legado de passivos ambientais decorrentes da execução durante anos de obras de construção, manutenção e conservação da malha rodoviária sem exigência de licenciamento ambiental, justifica-se a necessidade de estudar os conceitos que envolvem a recuperação de passivos ambientais.

Essa dissertação foi realizada a partir de dados obtidos do projeto “Regularização Ambiental da BR 116 nos Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul”, fruto do convênio entre a Universidade Federal do Paraná (UFPR), representada pelo Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura (UFPR/ITTI), a Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF) e o Departamento Nacional de Infraestruturas de Transporte (DNIT). Projeto no qual a autora pode participar do levantamento em campo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os passivos ambientais encontrados nas rodovias nacionais, como supracitado, são reflexos da construção anterior à legislação ambiental e também consequência de anos de deficiência quanto ao estado de manutenção e conservação.

A existência desses passivos ao longo da faixa de domínio acarreta em danos ao patrimônio público, como a degradação do corpo estradal (pista de rolamento, acostamentos, cortes, aterros e sistemas de drenagem), dispositivos de sinalização e segurança viária, obras de arte especiais e complementares, dispositivos de acesso, dentre outros (BLASI, 2014). Além disso, os problemas como instabilidade de maciços que não foram devidamente conformados podem por muitas vezes obstruir partes da rodovia, como pode ser observado na Figura 1.1, ou criar pontos críticos em que o usuário precisa reduzir a velocidade, diminuindo o nível de serviço da via.

Figura 1.1 – Queda de blocos e deslizamento na BR-116 MG



Fonte: A autora, 2018.

Além do dano econômico, os passivos ambientais podem gerar riscos ao ambiente devido a degradação do uso do solo, supressão da camada vegetal, assoreamento e entre outros problemas, e também um risco ao usuário da rodovia e a população lindeira, caracterizando-se, desse modo, como um problema socioambiental. Os riscos ao usuário são contextualizados por diversos acidentes presenciados ao longo das rodovias nacionais. Um exemplo de um talude que não foi devidamente conformado, caracterizando um passivo ambiental, e que apresentou problemas geotécnicos é o caso do escorregamento que ocorreu em junho de 2012, na via que liga a cidade João Pessoa à cidade de Cabedelo (Figura 1.2), o qual envolveu duas motocicletas e um automóvel e ocasionou ferimentos nos respectivos condutores e passageiros.

Figura 1.2 – Acidente ocasionado por escorregamento de talude rodoviário



Fonte: Almeida, 2016.

Portanto, com base nos problemas socioambientais e econômicos que possam surgir em decorrência dos passivos ambientais presentes na faixa de domínio das rodovias federais, nota-se a importância em explorar conceitos de gestão e de recuperação.

Visando eficácia em recuperação de passivos ambientais, faz-se necessário realizar um diagnóstico adequado, para que as medidas adotadas atuem nas causas do problema. Assim, um levantamento e cadastramento preciso deve ser executado, com a intenção de determinar o melhor método de recuperação e, desse modo, garantir o melhor custo x benefício.

Além do mais, visto tantos problemas que a infraestrutura viária necessita adequar, acarretando em diversas demandas para o investimento público – como, por exemplo: o grande número de rodovias não pavimentadas, rodovias em mau estado de conservação e rodovias que necessitam ser duplicadas – justifica-se desenvolver um método de priorização de passivos ambientais, a fim de determinar uma ordem para um plano de gestão das recuperações ambientais.

1.2 OBJETIVO

O trabalho em questão visa propor um modelo de gestão de passivos ambientais, utilizando como premissas: uma proposta de método de classificação, uma proposta de método de priorização e a estimativa orçamentária para recuperação.

1.2.1 Objetivos específicos

- Determinar um método de classificação de passivos ambientais físicos e/ou materiais, utilizando como critério o principal fenômeno associado e correlacionando com as possíveis causas e prováveis consequências do passivo;
- Propor uma formulação matemática para cálculo da priorização de passivos ambientais;
- Apresentar uma simulação do modelo de gestão de passivos ambientais, a partir das ferramentas obtidas nas etapas anteriores;
- Propor uma ficha de registro de passivos ambientais que contemple as informações necessárias para aplicar as metodologias propostas;
- Realizar uma análise crítica do modelo desenvolvido.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos:

Capítulo 1 – Introduz o assunto e contextualiza a problemática. São descritos os objetivos e a justificativa para desenvolvimento do estudo.

Capítulo 2 – Apresenta conceitos relevantes para entendimento e desenvolvimento da pesquisa em questão, como por exemplo, passivos ambientais e instabilidades geotécnicas. No contexto de passivos ambientais, é abordado aos modelos de classificação e priorização encontrados na literatura. Em relação as instabilidades geotécnicas, é apresentado os conceitos e classificações mais usuais. Além disso, é apresentada a ferramenta de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) que foi utilizada

para hierarquizar dos parâmetros da priorização de passivos e ferramentas estatísticas utilizadas para obter o modelo de gestão.

Capítulo 3 – Enquadra o trabalho de acordo com a caracterização da pesquisa e apresenta a metodologia utilizada para desenvolver o modelo de gestão de passivos ambientais rodoviários. Nesse contexto, é detalhada a metodologia para desenvolver a classificação de passivos, bem como a utilizada para estabelecer a equação matemática proposta para a priorização. Ademais, apresenta a metodologia utilizada para criar as ferramentas do modelo de gestão e para levantar e compilar os dados da unidade de análise.

Capítulo 4 – Propõe um modelo de gestão de passivos ambientais rodoviários, incorporando: um método de classificação e um método de priorização. É discutido a respeito das ferramentas obtidas, aplicando-as no banco de dados de passivos e na estimativa orçamentária para recuperá-los. Por último, é proposto uma ficha de registro de passivos, afim de auxiliar a aplicação do modelo proposto.

Capítulo 5 – Apresenta as principais considerações sobre a problemática abordada e sobre os resultados obtidos, destacando as vantagens e limitações do modelo de gestão proposto, bem como a recomendação para estudos futuros. A conclusão é realizada em tópicos, respeitando a disposição dos objetivos específicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo aborda a revisão bibliográfica de itens que foram relevantes para realizar o estudo. Inicialmente é apresentada a definição do termo “passivo ambiental”, pois é um conceito muito polêmico e que possui diferentes significados de acordo com contexto. Aborda-se também os diferentes métodos de classificação encontrados na literatura, bem como os diferentes modelos de priorização de recuperação.

Na sequência, são abordados conceitos sobre instabilidades geotécnicas, como: processos erosivos, movimentos de massa gravitacionais e deslocamentos verticais. Por último, são apresentadas ferramentas matemáticas utilizadas no trabalho em questão, como a ferramenta de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD), a Metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e ferramentas estatísticas: o Princípio de Pareto e a Distribuição Normal de frequências.

2.1 PASSIVOS AMBIENTAIS

Desde o surgimento da comissão WCED (*World Commission on Environment and Development*) em 1987, o tema “sustentabilidade ambiental” tem recebido a devida importância no cenário mundial. O controle de impactos ambientais, que é intrínseco a pauta da WCED, foi englobado pelo comitê com o intuito de gerar uma conscientização por meio das obrigações e responsabilidades sociais das empresas em relação aos aspectos ambientais de suas atividades. Nesse raciocínio, é dada uma importância considerável em relação aos passivos ambientais, os quais são desencadeados a partir da geração de um produto ou na prestação de um serviço por parte de um núcleo produtivo. Contudo, é complexo conceitualizar o termo “passivo ambiental”, visto que a definição é relativa ao contexto que o termo está inserido.

O processo de licenciamento ambiental brasileiro é realizado em espelho da experiência internacional, como, por exemplo, os procedimentos realizados no Estados Unidos, Canadá e China. O fato ocorre, pois, o estabelecimento da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) no Brasil decorreu de exigências de instituições financeiras internacionais para concessão de créditos. Desse modo, em resumo, os processos licitatórios objetivam identificar impactos ambientais da ação proposta, efeitos adversos, alternativas de ação e medidas de mitigação e possíveis

irreversibilidades de recursos envolvidos na ação (PIAGENTINI; DA SILVA FAVARETO, 2014).

Assim como no Brasil, algumas rodovias ao longo do mundo foram construídas antes da obrigatoriedade em se realizar a AIA, desse modo, há a necessidade de estabelecer os padrões ambientais requeríveis. Porém, a abordagem do termo “passivos ambientais” internacionalmente é diferente. Pois, considera-se que as ocorrências ao longo da faixa da rodovia devem ser recuperadas em procedimentos de manutenção, e não com o foco no licenciamento de operação.

O emprego do termo no Brasil, no contexto de ocorrências a serem recuperadas para o processo de licenciamento, é consequência de o termo “passivos ambientais” ter sido traduzido do termo em inglês “*environmental liabilities*”, o qual está ligado ao contexto jurídico. De acordo com o United States Environmental Protection (1996), o termo é usado para referir ao potencial de multas e penalidades devido a violações nas leis ambientais. Nesse sentido, quando as empresas realizam compromissos de “responsabilidade ambiental”, elas querem saber quais as possibilidades de exposição aos débitos ambientais, mesmo quando estão em completa conformidade com os padrões regulatórios.

Nesse sentido, a abordagem similar à brasileira, em relação a recuperação de passivos ambientais, está contida nos guias e manuais disponibilizados pelos órgãos gestores das rodovias internacionais. Por exemplo, no Estados Unidos, África e Canadá, as atividades de recuperação das não conformidades ambientais são abordadas sob dois aspectos: restauração da paisagem deteriorada e as atividades de manutenção da via.

Manuais como o 82 IAM INDIAN AFFAIRS MANUAL – Transportation Facilities Maintenance Handbook (BIA ROAD MAINTENANCE PROGRAM) a recuperação de passivos, em relação às atividades de manutenção da via, diz respeito à:

- Manutenção de lixos na rodovia;
- Reparos no sistema de drenagem;
- Implantação de sistemas de drenagens adequados;
- Recuperação de deslizamentos;
- Proteção e reparos em proteção de taludes.

O manual Botswana Roads Maintenance Manual (BOTSWANA GOVERNMENT, 2010), que aborda sobre atividades de:

- Prevenção a erosão;
- Reparos a locais erodidos;
- Reparos em taludes.

Ainda no contexto, o Maintenance Manual Washington State Department of Transportation (WSDOT, 2019) aborda a respeito de:

- Estabilização de taludes e encostas com vegetação;
- Proteção do terreno em plataformas;
- Adequação do sistema de drenagem.

No contexto rodoviário brasileiro e toda a produção deste setor, o IBAMA (2008) ressalta que, na concepção, manutenção ou melhoramento de uma rodovia, há a possibilidade de ocorrência de falhas dentro da faixa de domínio, que geram danos ambientais, caracterizando-os como passivos ambientais rodoviários. Contudo, Gallardo (2004) afirma que passivos ambientais rodoviários envolvem não apenas eventuais situações decorrentes da implantação do sistema viário, mas também o exercício das obras de infraestrutura já existentes ou ações de terceiros não diretamente vinculadas à implantação dessa infraestrutura.

Estas externalidades geradas por terceiros sobre o sistema viário podem causar danos à rodovia ou ao usuário, por exemplo, através da implantação de loteamentos marginais ou ocupações indevidas que causam assoreamento, devido à inexecução de obras de terraplenagem, acumulando sedimento na pista de rolamento e no sistema de drenagem.

Além disso, segundo o DNIT (2006), também deve-se considerar os aspectos administrativos, como o enquadramento ou renovação legal de licenciamento ambiental, assim como a falta de apresentação de EIA e RIMA ou pendências do projeto ambiental acordado.

Ainda sobre passivos rodoviários, o DNIT (2006) ressalta que estes são um tipo de débito que o responsável pela rodovia tem com a sociedade, tomando como referência:

- A poluição de rios pela descarga de efluentes de uma usina de asfalto;
- Danos à flora devido à chuva ácida produzida por gases e particulados;

- Processos erosivos decorrentes da construção, pavimentação ou operação de uma rodovia que não foram controlados pelo empreendedor;
- Derramamento proposital ou acidental de combustíveis, óleos, graxas, asfaltos ou outros produtos tóxicos ou perigosos;
- A degradação paisagística referente ao que compete a faixa de domínio;
- A presença de depósitos de lixo no interior da faixa de domínio, ainda que efetuada por terceiros, é um passivo ambiental de responsabilidade do empreendedor;
- Acidentes rodoviários, devido à falta, a deterioração ou o encobrimento da sinalização pela vegetação.

Entretanto, passivos ambientais em empreendimentos rodoviários enquadram-se duas categorias: “passivos físicos e/ou materiais” e “passivos sociais, morais ou de natureza jurídica” (PIMENTA *et al.*, 2014). Os passivos de natureza física e/ou material são passíveis de remediação, e, muitas vezes, envolvem problemas no âmbito geotécnico.

De acordo com o DNIT (2006) é possível dar ênfase aos passivos relacionados a problemas geotécnicos, como erosões e estabilidade de taludes, devido ao deficiente acabamento em cortes, aterros ou a áreas exploradas ou bota-foras, que são situações enfrentados em uma grande parcela das rodovias nacionais.

Portanto, o passivo ambiental é uma realidade das rodovias nacionais e é consequência de externalidades da interação rodovia-ambiente sobre terceiros ou externalidades de terceiros para com a rodovia (DNIT, 2006).

2.1.1 Classificação de passivos

Na literatura, a classificação de passivos ambientais é realizada utilizando diferentes critérios como: responsabilidades, aspectos ambientais (meio socioeconômico, físico ou biótico), causas da ocorrência, características do segmento rodoviário, locais de ocorrência e entre outros. Sendo que alguns misturam critérios dentro de uma metodologia de classificação.

Assim, nesse tópico, serão apresentadas algumas classificações de passivos ambientais encontradas por meio de revisão bibliográfica. O intuito é obter um melhor

entendimento sobre o assunto e, desse modo, auxiliar na definição de uma classificação de passivos ambientais.

a) Classificação de Malafaia

Malafaia (2004) classifica os passivos ambientais em relação aos aspectos ambientais que são afetados, sendo eles: meio socioeconômico, físico e biótico.

Em relação ao aspecto socioeconômico, os passivos ambientais são classificados como:

- Conflito de uso e ocupação do solo;
- Alterações nas atividades econômicas condições de emprego e qualidade de vida para as populações (segurança do tráfego, ruído, vibrações, emissões atmosféricas; desapropriações; riscos ao patrimônio cultural, histórico e arqueológico).

No que se resume ao meio biótico:

- Impedimento dos processos de intercâmbio ecológicos por corte de áreas;
- Risco a áreas protegidas e a biótopos ecológicos importantes;
- Redução da cobertura vegetal;
- Pressão sobre ecossistemas terrestres e aquáticos.

No contexto do meio físico, passivos ambientais podem ser caracterizados por:

- Retirada de solos;
- Indução a processos erosivos;
- Instabilidade de taludes;
- Rompimento de fundações;
- Terraplenagem, empréstimos e bota-foras;
- Degradação de áreas de canteiro de obras, trilhas e caminhos de serviço;
- Rebaixamento do lençol freático;
- Risco para a qualidade de água superficial e subterrânea por concentração de poluentes.

b) Classificação do DNIT

A classificação dos passivos ambientais apresentada pelo Órgão federal no Manual para Atividades Ambientais Rodoviárias do DNIT (2006) engloba o Quadro 2.1 e Quadro 2.2, e classifica os passivos ambientais de acordo com: a faixa de domínio, às áreas adjacentes, às áreas utilizadas para apoio às obras, e as outras áreas, como: assoreamentos, alagamentos e ações de terceiros.

Quadro 2.1– Classificação de passivos pelo DNIT (2006) quadro “a”

a - FAIXA DE DOMÍNIO E ÁREAS ADJACENTES		
CORTES		
EROSÃO – ER (01) em sulcos (02) diferenciada (03) longitudinal em plataforma (04) associada a sistemas de drenagem (05) ravinamento DESAGREGAÇÃO SUPERFICIAL – DS (06) desagregação superficial	ESCORREGAMENTO – ES (07) devido à inclinação acentuada; (08) ao longo de estruturas residuais; (09) no contato solo x rocha; (10) por saturação; (11) por evolução de erosão; (12) em corpo de tálus.	QUEDA DE BLOCOS – Q.B. (13) por estruturas residuais; (14) por descalçamento. ROLAMENTO DE BLOCOS - RB (15) rolamento de blocos.
ATERROS		
EROSÃO – ER (16) em sulcos; (17) longitudinal em plataforma; (18) associada a sistemas de drenagem; (19) interna ao maciço (<i>piping</i>); (20) ravinamento;	ESCORREGAMENTO – ES (21) por deficiência de fundação; (22) no maciço; (23) associada a sistemas de drenagem; (24) em transposição de OAC.	RECALQUE – RE (25) por deficiência de fundação; (26) associado a sistemas de drenagem; (27) por selagem de OAC; (28) por rompimento de OAC; (29) por má compactação do maciço.

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

Quadro 2.2 – Classificação de passivos pelo DNIT (2006) quadro “b”

b - ÁREAS UTILIZADAS PARA APOIO ÀS OBRAS-AÇÕES DE TERCEIROS		
CORTES		
EROSÃO – ER (30) em sulcos; (31) diferenciada; (32) associada a sistemas de drenagem; (33) ravinamento.	ESCORREGAMENTO – ES (37) devido à inclinação acentuada; (38) ao longo de estruturas residuais; (39) no contato solo x rocha (40) por saturação; (41) por evolução de erosão.	QUEDA DE BLOCOS – Q.B. (42) por estruturas residuais; (43) por descalçamento. ROLAMENTO DE BLOCOS – RB (44) rolamento de blocos.
ATERROS / BOTA – FORAS		
EROSÃO – ER (46) em sulcos; (47) longitudinal em plataforma; (48) associada a sistemas de drenagem; (49) interna ao maciço (piping); (50) ravinamento.	ESCORREGAMENTO – ES (51) por deficiência de fundação; (52) no maciço; (53) associada a sistemas de drenagem; (54) em transposição de OAC.	RECALQUE – RE (55) por deficiência de fundação; (56) associado a sistemas de drenagem; (57) por selagem de OAC; (58) por rompimento de OAC; (59) por má compactação do maciço.
ACESSOS IRREGULARES		OCUPAÇÃO DA FAIXA DE DOMÍNIO
ACESSOS IRREGULARES – AI (60) pavimentado; (61) não pavimentado; (62) em condição crítica de segurança; (63) segmento crítico.		OCUPAÇÃO DA FAIXA DE DOMÍNIO - OF (64) agricultura; (65) edificações; (66) comércio; (67) descarte de lixo.

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

c) Classificação de Blasi

Em seu trabalho, Blasi (2014) classifica os passivos ambientais em três grupos: Passivos ambientais relacionados ao corpo estradal (Grupo I); passivos ambientais relacionados às antigas áreas de apoio (Grupo II) e passivos ambientais decorrentes das ações de terceiros (Grupo III). Cada grupo foi dividido em subgrupos, conforme apresentado no Quadro 2.3, Quadro 2.4 e Quadro 2.5.

Quadro 2.3 – Classificação de passivos por Blasi (Grupo I) (2014)

Local de ocorrência	Tipo de passivo	Subdivisão
Pista de rolamento	Acúmulo de sedimentos	-
	Alagamento	-
Acostamentos	Acúmulo de sedimentos	-
	Alagamento	-
Sistema de drenagem	Acúmulo de sedimentos	-
	Alagamento	-
	Erro de dimensionamento	-
Corte	Desagregação superficial	-
	Erosão	Sulcos
		Ravinamentos
		Voçorocas
		Interna ao maciço
		Longitudinal em plataforma
	Escorregamento	Em corte
Aterro	Queda de blocos	-
	Recalque	-
	Erosão	Sulcos
		Ravinamentos
		Voçorocas
		Longitudinal em plataforma
	Escorregamento	Em aterro
Área de preservação permanente (APP)	Contaminação	-
	Falta de vegetação	-
Corpo hídrico	Assoreamento	-
	Contaminação	-

Fonte: Blasi, 2014.

Quadro 2.4 – Classificação de passivos por Blasi (Grupo II) (2014)

LOCAL DE OCORRÊNCIA	TIPO DE PASSIVO	SUBDIVISÃO
Bota-fora	Recalque	-
	Erosão	Sulcos
		Ravinamentos
		Voçorocas
		Longitudinal em plataforma
	Escorregamento	Em aterro
Caixa de empréstimo e jazidas	Recalque	-
	Erosão	Sulcos
		Ravinamentos
		Voçorocas
	Escorregamento	Em corte
Instalações industriais e canteiro de obras	Contaminação	-
	Falta de vegetação	-
	Falta de desmobilização	-
Caminhos de serviço	Acesso Irregular	Pavimentado
		Não pavimentado
		Em condição crítica de segurança
		Segmento crítico
	Falta de vegetação	-
Área de preservação permanente (APP)	Contaminação	-
	Falta de vegetação	-
Corpo hídrico	Assoreamento	-
	Contaminação	-

Fonte: Blasi, 2014.

Quadro 2.5 – Classificação de passivos por Blasi (Grupo III) (2014)

LOCAL DE OCORRÊNCIA	TIPO DE PASSIVO	SUBDIVISÃO
Faixa de domínio	Acesso Irregular	Pavimentado
		Não pavimentado
		Em condição crítica de segurança
		Segmento crítico
	Ocupação Irregular	Agricultura
		Edificação
		Comércio
		Descarte de lixo
Terreno lindeiro	Erosão	Sulcos
		Ravinamentos
		Voçorocas
	Escorregamento	Em aterro
		Em corte
	Queda de blocos	-

Fonte: Blasi, 2014.

2.1.2 Priorização de recuperação

Uma vez evidenciado um passivo ambiental, esse deve ser recuperado, a fim de que sejam mantidas as condições de segurança, ambientais e de operabilidade da rodovia. Porém, devido à grande quantidade de débitos a serem corrigidos, faz-se necessário estabelecer algum critério para priorização de recuperação do passivo.

Crítérios de priorização na gestão de recursos são amplamente utilizados no contexto rodoviário. A exemplo, em um estudo desenvolvido na Índia, por Pradeep e Nair (2013), como uma proposta de investimento para o projeto “*State Road Improvement Project*”, a priorização de rodovias para aplicação de programas de investimento foi adotada com base em uma análise multicritério. A análise relaciona a necessidade de adequação da malha rodoviária às questões de desenvolvimento econômico, sustentabilidade e compatibilidade aponta a necessidade de se obter critérios substanciais para classificação transparente e consistente, afim de hierarquiar rodovias para receberem investimentos estatais para receber melhorias.

Foi realizada a análise de multicritério e definido um índice por meio da ponderação de sete parâmetros que refletem a importância da estrada na rede regional e questões ambientais e sociais. Como por exemplo, a conectividade econômica de cada trecho (acesso a indústria, regiões agrônomas e de polos

pesqueiros, distritos, rodovias nacionais, estatais e terminais de transporte), o volume total e volume de veículos comerciais que trafegam, a sensibilidade em relação a corredores ecológicos e a presença de problemas sociais ao longo da rodovia. Posteriormente, foi realizada a hierarquização dos valores obtidos e as estradas com a pontuação acima do valor médio foram selecionadas.

Outro estudo realizado na Indonésia, sob a premissa que o gerenciamento de reparos e manutenção de estradas no país não é criterioso, propôs uma metodologia de auxílio a tomada de decisão por meio de uma análise multicritério utilizando a lógica fuzzy. A análise foi realizada ponderando onze parâmetros pré-definidos por especialistas, por exemplo: tipo, classificação e capacidade da estrada; nível, comprimento, tipo e duração do dano; estado da estrada e valor econômico da estrada). Assim, foi estabelecida, por meio do índice obtido, a hierarquização em relação a priorização de investimento. O estudo aplica o modelo desenvolvido em três casos regiões da reais na área da Indonésia (UTAMA *et al.*, 2016).

No contexto de passivos ambientais rodoviários, o DNIT (2006) aborda sobre a necessidade de criar um método para priorização de intervenções para auxiliar no gerenciamento dos recursos disponíveis para a realização das obras de recuperação dos passivos ambientais, e propõe um modelo baseado numa matriz de prioridade. Baseado no modelo proposto pelo DNIT, outros modelos foram encontrados na literatura, como o proposto pelo DER (2007) e por Blasi (2014).

a) Modelo de priorização do DNIT

O modelo de priorização proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006) para determinação do Índice de Prioridade (IP) é função de dois outros índices: o Índice Técnico (IT) e o Índice de Risco (IR).

O Índice Técnico (IT) pode ser obtido com base na relação entre os parâmetros: “estado de conservação da via” e “condições de drenagem”. O Índice também considera o interesse estratégico e socioeconômico da rodovia, além do risco de dano ambiental. O IT varia de acordo com a ponderação de 1 a 7, crescendo proporcional ao pior estado da rodovia.

O Índice de Risco (IR) pode ser obtido por meio da caracterização física e biológica em relação ao meio que o passivo se encontra. Ou seja, o Índice retrata as condições relacionadas com a cobertura vegetal e tipo/estado do solo e com as

condições climáticas (precipitações pluviométricas). O IR varia de 0 a 5, crescendo de acordo com o maior risco proporcionado pelo meio.

Desse modo, cruzando uma matriz com o IT nas linhas e o IR nas colunas, é possível obter uma nota do IP, conforme observado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Matriz do IP pelo método do DNIT

Índice Técnico	Índice de Risco					
	0	1	2	3	4	5
≤ 1	1	1	2	2	3	3
2	1	2	2	3	3	4
3	2	2	3	3	4	4
4	2	3	3	4	4	5
5	3	3	4	4	5	5
6	3	4	4	5	5	6
≥ 7	4	4	5	5	6	7

Fonte: DNIT, 2005.

A ponderação do IP pode ser associada com o agrupamento de solução recomendada, que indicam qual a ordem de grandeza do custo de intervenção, de acordo com três níveis:

- **Nível 1** – IP variando entre 1 e 2 – Adotar intervenções com menor custo de implantação, como por exemplo: execução de canaletas de drenagem sem revestimento ou revestidas com grama; acerto manual de taludes; aplicação de solo cimento ensacado para obturação de taludes erodidos, pequenas operações de terraplenagem para correção da inclinação de taludes; etc.;
- **Nível 2** – IP variando entre 3 e 5 – Adotar intervenções de execução mais complexa, ou seja, que envolvem equipamentos de maior porte, equipes humanas com especialização adequada aos serviços e, em alguns casos, necessitam de matéria prima obedecendo a especificações técnicas, como por exemplo: canaletas de drenagem revestidas em concreto; acerto de taludes pelo uso de equipamentos de terraplenagem; utilização de gabiões na recuperação de taludes erodidos; confecção de muros de peso; aplicação de drenos sub-horizontais; etc.;

- **Nível 3** – IP variando de 6 a 7 – Adotar soluções com o custo de implantação mais elevado, como por exemplo: cortinas atirantadas; muros em concreto armado; terra armada; aplicação de estacas raiz; etc.

b) Modelo de priorização do DER

Outro método para priorização de recuperação de um passivo é o estabelecido pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER). De acordo com o DER (2007), o índice de Relevância do Passivo Ambiental (RPA) é dado pela soma: da Interferência (I), do Risco (R), Agravante (Ag) e do Atenuante (F), como pode ser observado na Equação 01, Equação 02, Equação 03 e Equação 04. Desse modo, para cálculo do RPA são atribuídos valores a cada parcela que compõem o índice (Quadro 2.6), os quais são cumulativos no caso de o passivo apresentar mais de uma característica.

$$I = \sum_{j=1}^n IMP_{j=1} \times E \quad (01)$$

$$R = \sum_{j=1}^n GR_{j=1} \times E \quad (02)$$

$$Ag = \sum_{j=1}^n AA_{j=1} \times E \quad (03)$$

$$F = \sum_{j=1}^n CA_{j=1} \times E \quad (04)$$

Quadro 2.6 – Variáveis para determinar o IP do passivo pelo método DER (2007)

PARÂMETRO		VALOR	PESO (E)
Impacto (IMP)			
1 – Rodovia	5	0,3	
2 – Usuário	3		
3 – Lindeiro	2		
Grau de Risco (GR)			
1 – Oferece risco	6	0,4	
2 – Pode oferecer risco c/ a evolução	4		
3 – Não oferece risco	0		
Aspectos Ambientais (AA)			
1 – Processo encontra-se a montante de ponto de captação de abastecimento público	4	0,2	
2 – Processo encontra-se em solo arenoso	3		
3 – Índice Pluviométrico > 2000 mm/ano	2		
4 – Encontra-se em Unidade de Conservação - UC	1		
Características Ambientais (CA)			
1 – Presença de cobertura vegetal	5	0,1	
2 – Não há concentração de água	5		
3 – Sem atenuantes	0		

Fonte: DER, 2007.

c) Modelo de priorização de Blasi

Blasi (2014), em um estudo para propor um método de levantamento de passivos ambientais e para a estruturação do elenco de Programas Ambientais que devem compor os Relatórios de Controle Ambiental, englobou um modelo de determinação do Índice de Priorização (IP) para a recuperação do passivo ambiental (Equação 05).

Desse modo, o índice pode ser obtido pela soma do produto da Gravidade de Ocorrência (GO) do passivo ambiental, da Interferência (I), da Intensidade do Tráfego (T) da rodovia, de questões Agravantes (Ag), da Tendência de Evolução (TE) do passivo e de aspectos Atenuantes (At) e respectivos pesos atribuídos.

$$IP = GO + I + T + Ag + TE + At \quad (05)$$

Os pesos e definição dos valores dos termos que compõem o IP, propostos pela autora, podem ser observados no Quadro 2.7. E, com base nos valores obtidos

para o IP, classifica-se, por meio da metodologia, os passivos ambientais em relação à urgência com que as intervenções devem ser realizadas.

A urgência de recuperação do passivo ambiental em relação ao índice de priorização pode ser dada por três classificações:

- **Pouca urgência** – IP menor que 2,5 – Determinam passivos ambientais de pouca gravidade, desse modo, as intervenções podem ocorrer em média em até três anos;
- **Urgente** – IP de 2,5 a 5,5 – Determinam passivos ambientais de gravidade intermediária e as ações de recuperação podem ser de médio prazo;
- **Urgentíssimo** – IP maior que 5,5 – Determinam passivos ambientais mais graves e que necessitam de ações imediatas.

Quadro 2.7 – Variáveis para determinar o IP do passivo por Blasi (2014)

CARACTERIZAÇÃO	PESO (<i>p</i>)	DESCRIÇÃO	VALOR <i>x</i>
GRAVIDADE DE OCORRÊNCIA <i>GO</i>	0,3	Gravíssima	5
		Grave	3
		Pouco grave	2
		Sem gravidade	0
INTERFERÊNCIA <i>I</i>	0,3	Ao corpo estrada	5
		À segurança do tráfego	3
		Às áreas adjacentes	2
TRÁFEGO <i>T</i>	0,2	Intenso: Volume superior a 3.000 veículo/dia	4
		Médio: Volume entre 1.400 a 3.000 veículo/dia	3
		Baixo: Volume entre 700 a 1.400 veículo/dia	2
		Baixíssimo: Volume inferior a 700 veículo/dia	1
AGRAVANTES <i>Ag</i>	0,2	Ponto a montante da captação de água para abastecimento público	4
		Ponto em solo instável	3
		Índice pluviométrico superior a 2.000 mm/ano	2
		Ponto em unidade de conservação	1
		Sem agravantes	0
TENDÊNCIA DE EVOLUÇÃO <i>TE</i>	0,1	Tende a evoluir rapidamente	6
		Tende a evoluir lentamente	5
		Estabilizado	0
		Tende a desaparecer	-1
ATENUANTES <i>At</i>	-0,1	Presença de cobertura vegetal	5
		Não há concentração de água	5
		Sem atenuantes	0

Fonte: Blasi, 2014.

2.2 INSTABILIDADES GEOTÉCNICAS

A fim de determinar as melhores ações a serem adotadas em relação a um passivo ambiental, primeiramente é necessário determinar, de acordo com sua classificação, qual o tipo de feição está ocorrendo. No contexto de passivos ambientais de natureza física e/ou material, justifica-se estudar as instabilidades geotécnicas que podem estar relacionadas com tais ocorrências.

2.2.1 Processos erosivos

Processos erosivos consistem na remoção do solo, sobretudo pela ação das águas de escoamento superficial, depositando-o em áreas mais baixas do relevo. Podem ocorrer devido o escoamento laminar, lavando a superfície do terreno como um todo – sem formar canais definidos ou por escoamento concentrado – ou formando sulcos, ravinas e podendo chegar à configuração de voçorocas, à medida que atinge o lençol freático. A erosão por escoamento concentrado ocorre em grande parte das vezes com velocidade lenta, porém contínua e progressiva ao longo do tempo (LAL *et al.*, 1994).

Os processos erosivos ocorrem naturalmente no ambiente não modificado, porém a ação antrópica acelera o desmatamento para implantação de obras, como por exemplo, as obras de infraestrutura (GERSCOVICH, 2016). Ou seja, a erosão do solo é considerada normal, quando ocorre equilíbrio entre a formação do solo e o seu desgaste. Quando a erosão é mais intensa que a formação, chama-se de erosão acelerada ou antrópica.

Assim, de acordo com LIMA (2001), a interferência antrópica devido às obras rodoviárias ocorre por conta da execução de cortes e aterros em solos que o expõem, juntamente com a inadequada compactação do material ou até a utilização de materiais com pouca resistência aos processos erosivos.

- **Fatores condicionantes dos processos erosivos**

A magnitude da erosão depende do potencial dos fatores internos e externos que condicionam os processos erosivos, sendo esses descritos por Massad (2010) de acordo com a Quadro 2.8.

Quadro 2.8 – Fatores condicionantes dos processos erosivos

FATORES EXTERNOS	Potencial de erosividade da chuva
	Condições de infiltração
	Escoamento superficial
	Topografia (declividade e comprimento da encosta)
FATORES INTERNOS	Fluxo interno
	Tipo de solo
	Desagregabilidade
	Erodibilidade
	Características geológicas e geomorfológicas
	Presença de trincas de origem tectônica

Fonte: Adaptado de Massad, 2010.

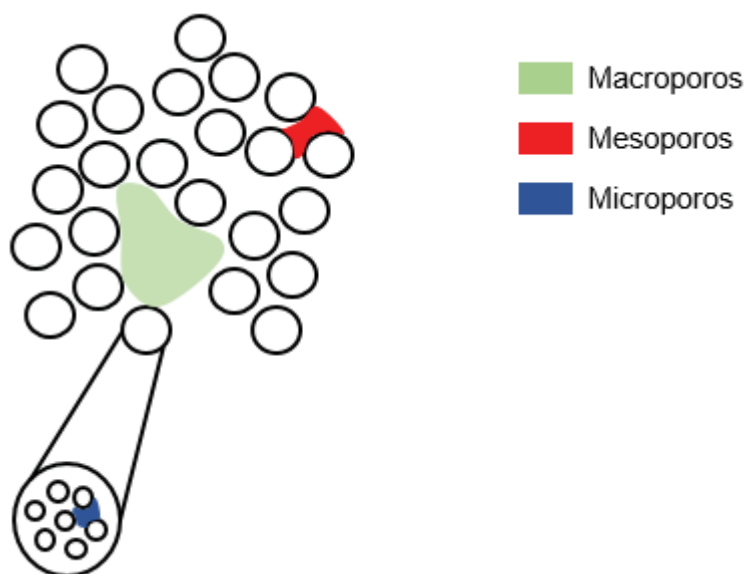
a) Infiltração

A infiltração pode ser considerada como um conjunto de condicionantes, pois está associada a várias delas, como por exemplo: vegetação, tipo do solo e o volume e intensidade da precipitação. Desse modo, não só está ligada somente à ocorrência dos processos erosivos, mas também ao movimento de massa gravitacional.

De acordo com Guerra e Cunha (2013, p.114): “A infiltração é o movimento da água dentro do solo. Os solos definem as quantidades de chuvas que infiltram ou que excedem para escoar na superfície do terreno”. A taxa de infiltração é dada em função do volume infiltrado pelo tempo, e decresce exponencialmente com o tempo de duração da chuva. A água que infiltra é igual a água que precipita antes de ser atingida a capacidade de infiltração do solo, após isso, uma porcentagem da chuva infiltra e a outra escoa superficialmente.

Dentre as características que influenciam o processo de infiltração, a que mais se destaca é a porosidade (BIGARELLA, 2013). Os solos são constituídos por partículas de diferentes composições mineralógicas e com os mais diversos formatos e tamanhos. Os espaços vazios existentes entre essas partículas são denominados poros e podem estar preenchidos por ar ou água. Os microporos são aqueles com menos de 0,2 milímetros, os com diâmetros superiores são os mesoporos e os macroporos (Figura 2.1). Os solos granulares, destacam-se por terem poros maiores e com maior interconexão, favorecendo o fluxo da água (GUERRA; CUNHA, 2013).

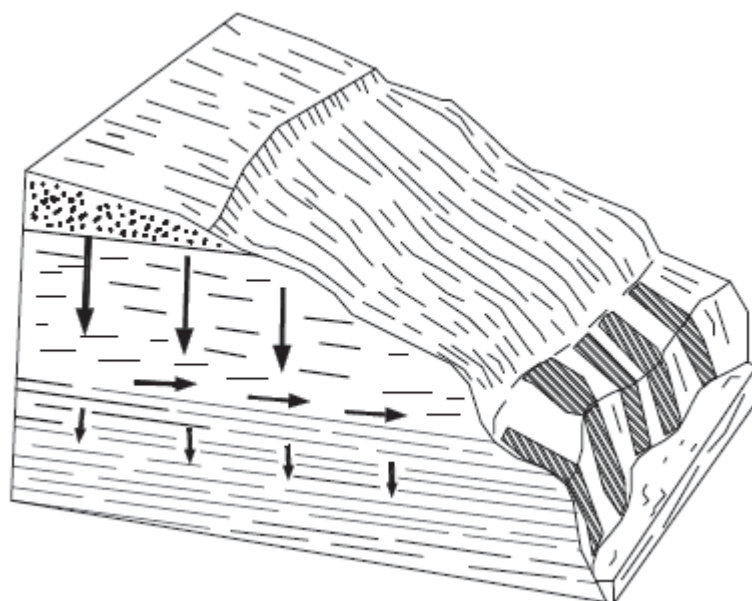
Figura 2.1 – Vazios no solo (macro, meso e microporos)



Fonte: Adaptado de Ferreira, 2017.

Em termos de infiltração, também há outros fatores a serem considerados, como: o grau de umidade em que o solo se encontra, a cobertura vegetal do solo e as forças capilar e gravitacional. A força gravitacional direciona a água no escoamento verticalmente e a capilar direciona em todos os sentidos (GUERRA; CUNHA, 2013).

Figura 2.2 – Infiltração em camadas de solos com diferentes permeabilidades



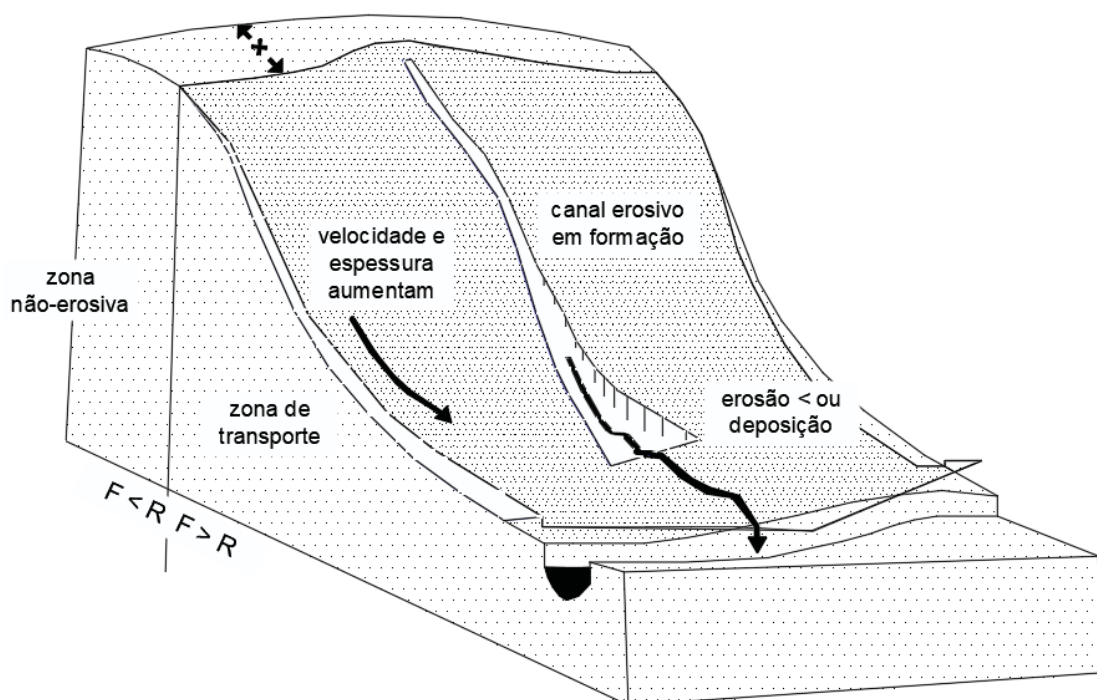
Fonte: Adaptado de Bigarella, 2013.

A infiltração pode variar em consequência das diferentes camadas de solo. Quando uma camada com maior capacidade de infiltração está sobre outra de menor capacidade, pode ocorrer redirecionamento do fluxo e, em sequência, o escoamento superficial. A situação é exemplificada através do esquema apresentado na Figura 2.2.

b) Escoamento

O estudo sobre escoamento da água é fundamental para quantificar a erosão dos solos e reconhecer os lugares mais propícios a esse tipo de fenômeno. Como mencionado anteriormente, o escoamento sobre a superfície é produzido quando é excedido, pela precipitação, o potencial de infiltração. Desse modo, o fluxo de escoamento é conhecido como fluxo superficial hortoniano, referência a Horton (1933). A Figura 2.3 mostra como ocorre a formação dos processos erosivos devido ao fluxo superficial hortoniano, sendo que o “x” é a distância crítica da zona não erosiva (GUERRA; CUNHA, 2013).

Figura 2.3 – Esquema da produção do fluxo superficial hortoniano e surgimento do canal erosivo



Fonte: Adaptado de Guerra e Cunha, 2013.

Horton (1933) apresenta que até uma certa distância “x” o escoamento não atinge uma velocidade necessária para ter potencial erosivo, denominando assim o trecho de zona-não-erosiva. Após o trecho de zona-não-erosiva, devido ao acúmulo de água e ganho de velocidade, pelo próprio aumento do gradiente topográfico, caracteriza a zona-erosiva ou zona-de-transporte. Assim, com a diminuição do gradiente topográfico, faz com que se passe a ter uma deposição do sedimento carregado, caracterizando a zona-de-deposição.

Ou seja, esses processos caracterizam-se por três fases: a primeira é quando as forças atuantes superam a resistência ao cisalhamento do solo e há o desprendimento da partícula, a segunda é a fase de arraste e a terceira é fase de deposição que ocorre quando não há energia suficiente para continuar tendo o transporte (GUERRA; CUNHA, 2013).

c) Erosividade da chuva

A chuva pode erodir o solo em três modos: por “*splash*”, o impacto das gotas de chuva, por meio do escoamento ou “*runoff*”, ou por meio da turbulência. Os parâmetros utilizados para investigar a erosividade da chuva são: volume, intensidade, momento e energia cinética.

A erosividade da chuva é delimitada por alguns fatores, como a energia cinética e o momento. O momento é o produto entre a massa e a velocidade da gota da chuva e a energia cinética é a energia do número total de gotas de um evento chuvoso, que é função: da saturação, massa, tamanho da gota e velocidade (GUERRA; CUNHA, 2013).

Os danos causados pelas gotas de chuva que atingem o solo conferem a primeira etapa do processo erosivo, sobretudo na ausência de cobertura vegetal. Tal fenômeno é conhecido na literatura por salpicamento ou “*splash*” e ocorrem devido ao fracionamento e desprendimento das partículas de solo em consequência ao momento do impacto da gota de chuva (BERTONI; LOMBARDI, 1985). Em sequência, com o aumento do volume de precipitação e diminuição da taxa de infiltração, o carreamento das partículas é dado pelo escoamento (“*runoff*”) e, conforme a evolução, pelo escoamento turbulento (LE BISSONNAIS; SINGER, 1988).

Na literatura, alguns autores como Wischmeier e Smith (1958) apresentam que uma solução simples para avaliar a erosão do solo é por meio da variável EI_{30} . A

variável caracteriza-se pelo produto da energia cinética total da chuva (E) e sua intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}). A partir deste produto, pode-se ter uma boa avaliação das três fases da erosão dos solos: “*splash*”, “*runoff*” e turbulência.

O valor de intensidade da chuva para qual a torna erosiva, de acordo com Guerra e Cunha (2013), vem sendo estudada por diversos autores, e alguns valores são sugeridos: 25 mm/h (HUDSON, 1961), 10 mm/h (MORGAN, 1977), 6 mm/h (RICHTER; NEGENDANK, 1977) e 55 mm/h (BOARDMAN; ROBINSON, 1985).

d) Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo está ligada com a sua propriedade. De acordo com Morgan (2009) erodibilidade é “a resistência do solo em ser removido ou transportado”. É importante ressaltar que a erodibilidade não é estática, mas sim varia com o tempo, e dependem da: tamanho dos grãos, porosidade, teor de matéria orgânica.

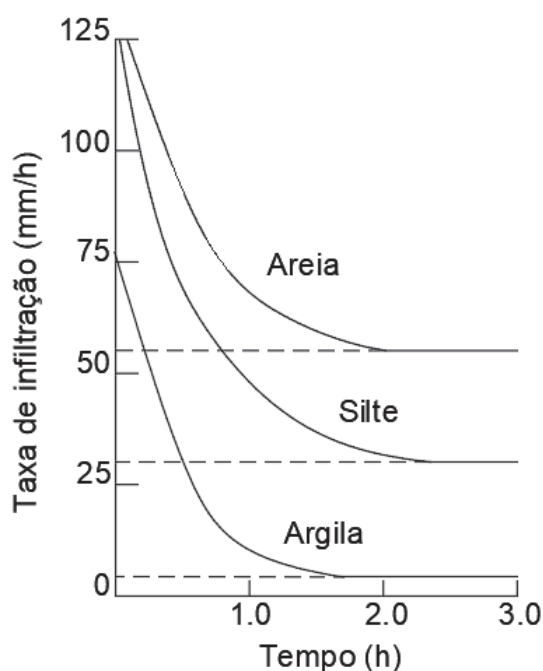
A granulometria afeta a erodibilidade pois algumas partículas são mais fáceis de carrear, como por exemplo a areia média, do que outras (partículas maiores ou menores que a areia média). As argilas são mais difíceis de serem carreadas, pois dificultam a infiltração. Em geral, o escoamento superficial não possui força suficiente para arrastar partículas maiores que 1 mm.

A porosidade, medida pela densidade aparente, interfere na taxa de infiltração (relacionada ao “*runoff*”) e na resistência ao “*splash*”, deste modo, consequentemente, tem influência na erodibilidade do solo.

A matéria orgânica proporciona mais estabilidade aos agregados e, deste modo, diminui a erodibilidade. Mesmo em solos com alto teor de areia, alta permeabilidade e alta porosidade, quando existe a presença de finos e pouca matéria orgânica podem produzir uma cimentação na camada superior do solo que podem aumentar o escoamento superficial e consequentemente o “*runoff*” (GUERRA; CUNHA, 2013).

No quesito infiltração, solos mais granulares, em geral, tem taxas de infiltração maiores que os solos mais finos. Tal afirmação pode ser observada por meio do gráfico da Figura 2.4 que mostra a variação da taxa de infiltração ao longo de um evento com duração de três horas para solos com diferentes granulometrias.

Figura 2.4 – Taxa de infiltração em diferentes tipos de solo de acordo com Withers e Vipond (1974)



Fonte: Adaptado de Guerra e Cunha (2013).

Porém, não só os tamanhos das partículas afetam na infiltração, mas também a agregação entre elas, ou seja, a presença de micro, macro e mesoporos, como já citado anteriormente. A porosidade do solo pode ser medida por meio da densidade seca e da umidade no ensaio de compactação (GUERRA; CUNHA, 2013).

A erodibilidade também é condicionada pela resistência aos agentes erosivos intrínseca ao solo. Além de ser uma característica endógena, essa resistência é influenciada também por fatores exógenos, como por exemplo, os ciclos de umedecimento e secagem que tendem a provocar expansões e contrações no solo ou a concentração de eletrólitos na água que escoar superficialmente ou que percola o solo (LIMA, 2001). Ainda na questão da propriedade do solo, outro fator que intervém é a alcalinidade do solo. Solos com pH maior, são mais propícios aos processos erosivos.

e) Cobertura vegetal

A vegetação interfere nos processos erosivos de diversas formas, como, por exemplo: no confinamento do solo, na diminuição da velocidade do escoamento superficial hortoniano, no aumento da taxa de infiltração do solo ou na proteção do solo contra o efeito de “*splash*”.

À medida que a cobertura vegetal se torna mais densa (mais de 30%) a erosão diminui. Além da vegetação atuar na interceptação da água da chuva, as raízes auxiliam na estabilidade mecânica e na formação de húmus, quando em processo de degradação, aumentando a quantidade de matéria orgânica. A estabilidade faz com que as partículas ganhem resistência ao impacto das gotas de chuva, diminuindo a cimentação e, conseqüentemente, o escoamento superficial (GUERRA; CUNHA, 2013).

A maior parte dos estudos apontam a grande expressividade do escoamento superficial em regiões áridas, devido à baixa densidade da vegetação, facilitando a cimentação da camada inicial devido ao impacto das gotas de chuva (GUERRA; CUNHA, 2013).

f) Geometria do talude/encosta

A geometria do maciço deve ser considerada em uma análise de processos erosivos devido à sua influência na velocidade e concentração do escoamento. Os fatores que são intrínsecos à geometria são: comprimento, declividade e forma (LIMA, 2001). A geometria pode estar vinculada à geomorfologia do maciço, como nos casos das encostas, ou a fatores de projeto, como no caso de taludes de corte e aterro.

O comprimento das encostas é definido como sendo a distância entre o ponto de origem do escoamento superficial e o ponto onde a inclinação diminui e começa a deposição de sedimentos ou, até o ponto onde o escoamento atinge um canal bem definido, integrante de uma rede de drenagens. Conseqüentemente ao aumento do comprimento de uma encosta ou talude, há um aumento no volume de escoamento superficial, e, deste modo, um aumento na intensidade de erosão, principalmente em relação a erosão concentrada (WISCHMEIER; SMITH, 1958).

Bigarella (2013) cita que há controvérsias na literatura a respeito do comprimento de um maciço, pois, um maior comprimento aumenta a área disponível

à ocorrência dos processos erosivos, toda via, o maior comprimento reduz a velocidade do escoamento. Porém, além do comprimento, é necessário analisar a inclinação/declividade do maciço, sendo que essa, é expressa em graus. Deste modo, Lima (2001) considera que o grau de declividade é o fator topográfico mais relevante no desenvolvimento dos fenômenos erosivos acelerados.

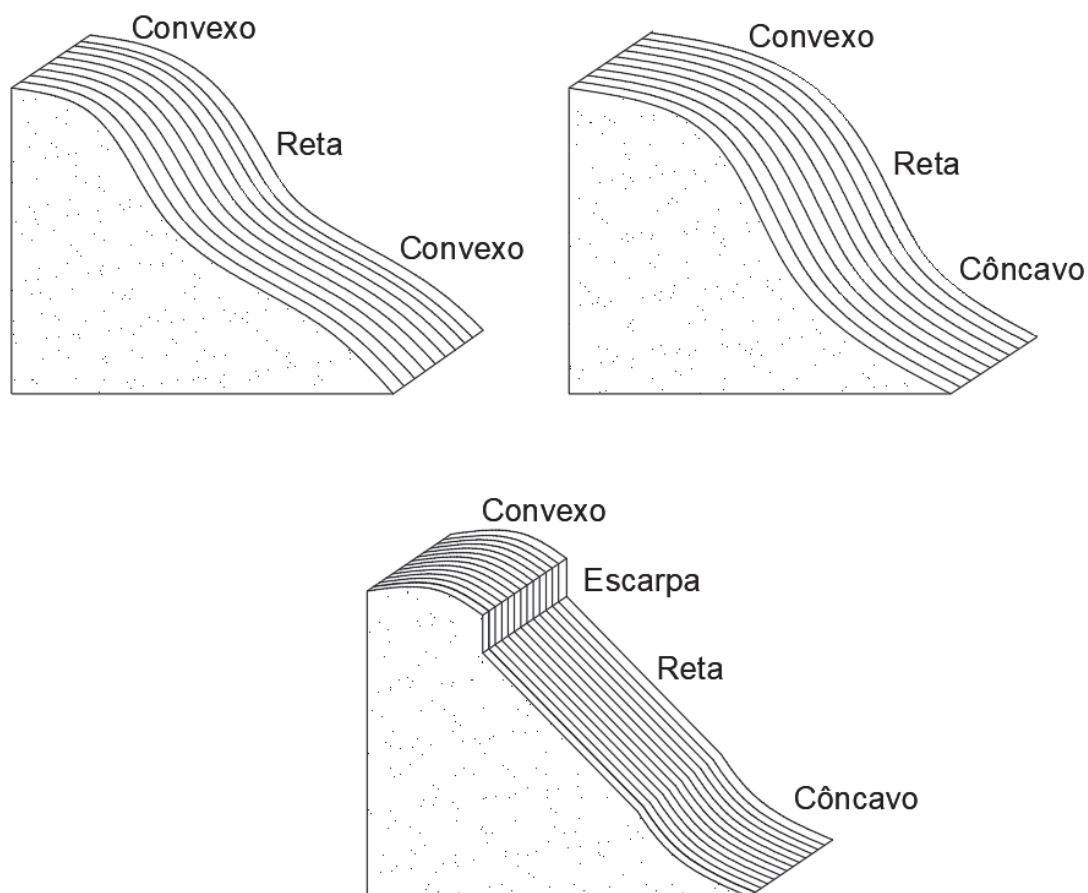
Uma menor inclinação permite, na maior parte das ocasiões, que se diminua o comprimento do talude, e, desse modo, há menos arraste de material. Porém, duas situações precisam ser consideradas: maiores inclinações podem diminuir a estabilidade do maciço em relação aos movimentos gravitacionais e também podem aumentar a velocidade do escoamento.

Portanto, em relação à declividade, Guerra e Cunha (2013) afirmam que o efeito de “*splash*” aumenta conforme a inclinação do talude, que começa a aumentar de zero até 20°, após os 20°, a influência da inclinação para o efeito “*splash*” começa a diminuir. Luk (1979) afirma, com base em diversos estudos, que a maior expressividade dos processos erosivos foi encontrada em encostas em torno de 30° de inclinação. Já POESEN e Govers (1986) apontam que a densidade das ravinas diminuem com o aumento da declividade (GUERRA; CUNHA, 2013).

Outra controvérsia na literatura, citada por Bigarella (2013), é em relação a forma dos taludes e encostas. As formas ou perfis podem ser divididos em três tipos distintos: convexo, côncavo e retilíneo. Porém, a maioria dos perfis de maciços possuem o formato da combinação entre esses três tipos, além de também apresentarem algumas vezes escarpas (Figura 2.5).

A maior parte das encostas é composta de vários segmentos, geralmente seu perfil é formado um segmento superior convexo, no qual a declividade aumenta para a jusante, seguido por um seguimento inferior côncavo com redução de declive encosta abaixo (BIGARELLA *et al.* 2003, p. 972).

Figura 2.5 – Possíveis formas dos perfis de maciços



Fonte: Adaptado de Bigarella, 2013.

Silva et al. (2007) e Bigarella (2013) consideraram que, em relação à dinâmica das encostas, as formas geométricas côncavas são zonas preferenciais para ocorrência de processos erosivos, em razão da convergência dos fluxos d'água, acelerando a ruptura entre materiais de diferentes características e de maiores dimensões. Já em um perfil convexo, observa-se que o início do escoamento superficial se caracteriza de forma difusa, em seguida, os fluxos adquirem uma tipologia constituída de pequenos filetes, em perfil retilíneo.

Já Young e Mutchler (1969) afirmam que as formas retilíneas perdem mais solos que as côncavas, porém menos que as convexas e Fiori e Soares (1976), por meio de estudos em diferentes regiões de São Paulo, verificaram que a condição que mais favorece os processos erosivos em 95% dos casos é a de perfis convexas (LIMA, 2001).

• Classificação dos processos erosivos

Em relação às classificações das feições erosivas presentes na literatura, existem classificações: que visam a mensuração quantitativa e qualitativa do fenômeno, abordando questões relacionadas às dimensões, e existem classificações mais voltadas para a caracterização dos passivos ambientais, que misturam conceitos de lugares, fenômenos e dimensões. Por exemplo, em relação a mensuração qualitativa e quantitativa, tem-se as classificações propostas por autores como Kronen (1990), Fendrich (1997), Lima (2001) e Bigarella (2003).

Lima (2001) afirma que muitos autores na literatura, como Bennett (1939) e Salomão e Iwasa (1995) dividem os processos erosivos em erosão laminar (em lençol) ou erosão linear (concentrada), sendo que a erosão linear pode ser classificada em sulcos, ravinas e voçorocas.

Kronen (1990) apud Lima (2001), em um estudo sobre a erosão do solo no estado do Paraná, propôs uma classificação para as feições erosivas com base em classes pedológicas, mais aplicadas à questão agrícola, de caráter qualitativo, em sulcos rasos, sulcos profundos e voçorocas:

- Sulcos rasos: até 1m de largura no horizonte A, que podem ser nivelados por meio de implementos agrícolas;
- Sulcos profundos: de 1 a 3m de largura no horizonte B superior, que não são nivelados por meio de implementos agrícolas;
- Voçorocas: mais de 3m de largura alcançando o horizonte C, que dificultam grandemente o uso de implementos agrícolas;

Já Fendrich (1997) propôs uma classificação para as voçorocas, segundo as suas dimensões (Quadro 2.9), ou seja, de caráter mais quantitativo.

Quadro 2.9 – Classificação de voçorocas por Fendrich (1977)

CLASSE	PROFUNDIDADE (m)	ÁREA DRNANTE (m ²)
Pequena	menor que 1	2
Média	de 1 a 5	de 2 a 20
Grande	maior que 5	maio que 20

Fonte: Fendrich, 1997 *apud* Lima, 2001.

Bigarella (2003) classifica os processos erosivos com base nos seguintes critérios: erosão em ranhura, sulco, vala e ravina, sendo que um é pode ser consequência da evolução de outro:

- Ranhura: até 5 cm de profundidade;
- Sulco: de 5 a 30 cm;
- Vala: 30 a 100 cm ;
- Ravina: maior que 100 cm;

O autor define ravina como um canal pequeno, relativamente profundo, originado por uma corrente de água intermitente, podendo ser sequência da evolução progressiva de ranhuras, sulcos e valas.

No contexto das classificações mais voltadas para a caracterização dos passivos ambientais, Carvalho *et al.* (1991) classificou os processos erosivos em erosão e degradação superficial, e a erosão foi subdividida de acordo com o lugar e a associação ao sistema de drenagem, como pode ser observando da Quadro 2.10.

Quadro 2.10 – Classificação de erosão do Manual de Geotecnia do DER/SP (1991)

EROSÃO	Em taludes de corte
	Em taludes de aterro
	Associada ao sistema de drenagem
DESAGREGAÇÃO SUPERFICIAL EM TALUDES	

Fonte: Carvalho *et al.*, 1991.

Já a classificação proposta por Blasi (2014), assim como o DNIT (2006), considera a divisão da erosão no local que ela ocorre, e como mostrado no Quadro 2.11, subdivisões que misturam fatores quantitativos a disposição da feição e localizações.

Quadro 2.11 – Classificação de erosão proposta por Blasi (2014)

Erosão	Corte	Sulcos
		Ravinamentos
		Voçorocas
		Interna ao maciço
		Longitudinal em plataforma
	Aterro	Sulcos
		Ravinamentos
		Voçorocas
		Interna ao maciço
		Longitudinal em plataforma
	Antiga área de apoio	Bota -fora
		Empréstimo

Fonte: Blasi, 2014.

A seguir, será apresentada a base teórica mais direcionada aos conceitos utilizados para a classificação proposta no estudo em questão, que constitui em subclassificar os processos erosivos em erosão uniforme e concentrada.

2.2.1.1 Erosão uniforme

A erosão uniforme (Figura 2.6) ocorre em consequência do escoamento laminar, ou seja, o escoamento superficial se dá de forma dispersa, sem concentrar em canais. Também é conhecida por erosão laminar ou erosão em lençol (CHIOSSI, 2013). De acordo com Bennett (1939) apud Lima (2001), a erosão causada por escoamento difuso das águas de chuva resulta na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo. O evento ocorre em condições de chuva prolongada, quando a precipitação supera a capacidade de infiltração.

Ressalta-se que quanto maior a turbulência, maior a capacidade erosiva do fluxo, portanto, a erosão uniforme tem um potencial erosivo relativamente menor que a erosão concentrada. De acordo com Guerra e Cunha (2013), a erosão laminar é mais expressiva em solos arenosos, logo, em solos coesos, as formas mais recorrentes são em sulcos, ravinas e voçorocas, ou seja, a erosão concentrada. A

erosão devido ao “*splash*” pode correr juntamente com a laminar e aumentar o potencial erosivo.

Figura 2.6 – Exemplo de talude apresentando erosão uniforme



Fonte: A autora, 2018.

2.2.1.2 Erosão concentrada

A erosão concentrada ou erosão linear origina-se da concentração das águas do escoamento superficial em linhas de fluxo (CHIOSSI, 2013). Os modelos quantitativos de Horton (1933) apontam que os processos erosivos evoluem para uma forma concentrada, dando origem a canais, e, posteriormente, continuam a evoluir lateralmente e verticalmente, dando origem aos vales. Em sequência, os canais se interconectam formando sistemas estruturados de drenagem.

Quando há presença de vegetação no talude ou encosta, favorece a infiltração de água no solo, e o escoamento se dá de forma subsuperficial, não ocorrendo o escoamento hortoniano. A evolução dos canais de erosão formados está associada aos processos de instabilidade lateral, juntamente com a gravidade, que levam ao surgimento de movimentos de massa gravitacionais (GUERRA; CUNHA, 2013).

O escoamento subsuperficial é condicionante ao intemperismo e ocorre por conta da diferença de potencial devido ao desnível entre a zona de saturação e a

porosidade. A infiltração da água no solo faz com que o nível do lençol freático suba, levando a água subsuperficial à superfície, podendo levar a erosão. Assim como no escoamento superficial hortoniano, o escoamento subsuperficial também pode conduzir a formação de canais, vales e expansão de redes de drenagem, deste modo, formando voçorocas.

Ao longo do tempo, devido a ocorrência de chuvas intensas ou muito duradouras, os processos erosivos podem evoluir para diversos níveis (SALOMÃO; IWASA, 1995 apud LIMA, 2001). O presente estudo considera os seguintes critérios de evolução dos processos erosivos: sulcos, ravinas, voçorocas e desmoronamentos.

- Erosão em sulcos

Ocorre quando o escoamento superficial ganha velocidade (geralmente acima de 30 cm/s), adquire um caráter turbulento e passa a escorrer em canais, pela acumulação do fluxo. Os sulcos começam a se formar a uma distância crítica “x”, como pode ser observado na Figura 2.7, a qual o escoamento se torna canalizado, são aproximadamente paralelos e presentes normalmente nos taludes de maior declividade, sem proteção superficial.

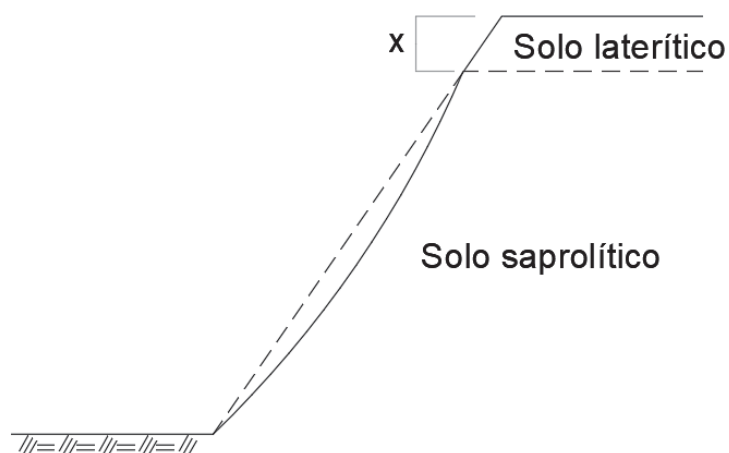
A maneira mais comum de ocorrer esse tipo de processo, são em solos tropicais, pois, apresentam uma camada de solo laterítico com pouca erodibilidade e outra de solo saprolítico muito erodível, como identificada por meio da Figura 2.7 e apresentado na Figura 2.8.

Figura 2.7 – Exemplo de talude apresentando erosão com sulcos



Fonte: A autora, 2018.

Figura 2.8 – Perfil longitudinal de erosão em sulcos



Fonte: A autora, 2019.

- Ravinas

A formação de ravinas está associada aos quatro estágios de escoamento: primeiro ocorre o escoamento superficial difuso, depois o escoamento superficial com alguma concentração em pontos preferenciais, em seguida o escoamento concentrado em microcanais sem cabeceira definida e por último o escoamento concentrado em microcanais com cabeceira definida (GUERRA; CUNHA, 2013).

A formação de ravinas é acentuada principalmente onde ocorre chuvas concentradas em solos desprotegidos e cobertura vegetal. São formas erosivas resultantes do aprofundamento dos sulcos devido ao fluxo concentrado de águas pluviais. A velocidade do fluxo de água pluvial é função do aumento da intensidade da chuva, da declividade da encosta (ou terreno) e da ultrapassagem da capacidade de armazenamento do solo. A Figura 2.9 exemplifica uma erosão em talude de corte apresentando ravinas.

Figura 2.9 – Exemplo de talude apresentando erosão em corte com sulcos e ravinas



Fonte: A autora, 2018.

- Voçorocas

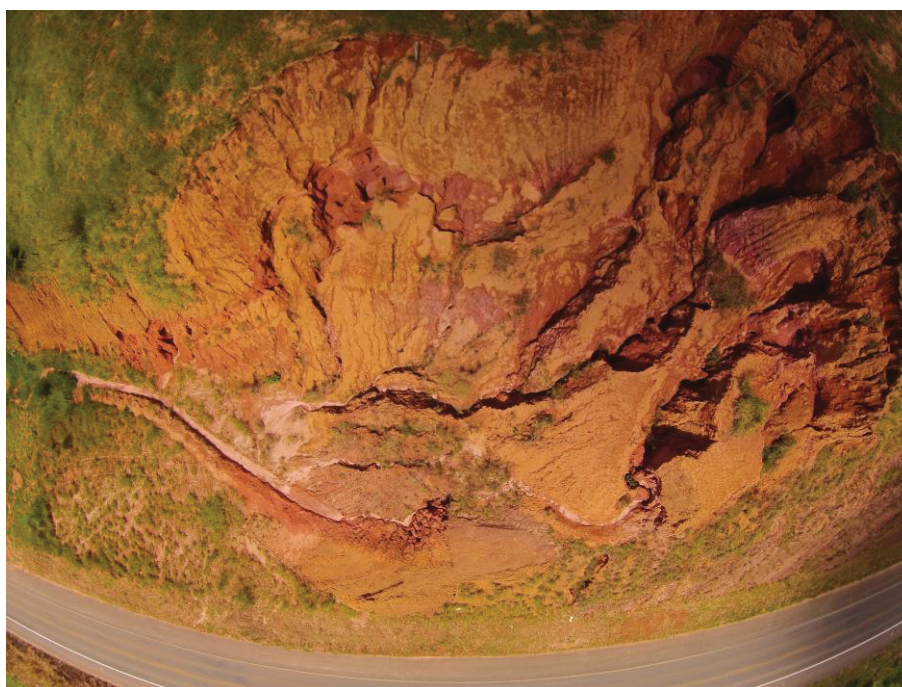
As voçorocas podem ocorrer devido à evolução das ravinas, devido à erosão interna ao maciço (*piping*) ou em consequência da ação combinada das águas do escoamento superficial e do subterrâneo. São de grande porte e de formas variadas e suas características erosivas são relativamente permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos. A exemplo de uma erosão em talude de corte apresentando voçoroca com a vista superior obtida por meio de drone tem-se a Figura 2.10.

Existem várias classificações para diferenciar os limites de quando se trata de uma ravina ou uma voçoroca. De acordo com Guerra e Cunha (2013), o Glossário de

Ciências dos Solos, publicado por Estados Unidos (2008) afirma que voçorocas possuem mais que meio metro de largura e podem chegar até trinta metros. Porém, Goudie *et al* (1994) não propõe valores específicos, mas afirma que voçorocas são aquelas que não é possível obliterar por máquinas agrícolas.

Bigarella (2003) define ravina como um canal pequeno, relativamente profundo, originado por uma corrente de água intermitente, podendo ser sequência da evolução progressiva de ranhuras, sulcos e valas. Nesse contexto, voçorocas são definidas como ravinamentos desenvolvidos.

Figura 2.10 – Exemplo de talude apresentando erosão em corte com sulcos, ravinas e voçorocas



Fonte: A autora, 2018.

- Outras feições de erosão concentrada

Alguns autores na literatura, como Carvalho *et al.* (1991) e Blasi (2014) subdividem, além dos tipos de erosão concentrada (sulcos, ravinas e voçorocas), em outros tipos característicos de processos erosivos, como: “erosão longitudinal em plataforma”, “erosão associada a sistemas de drenagem”, “erosão interna ao maciço (“*piping*”) e “erosão diferenciada”.

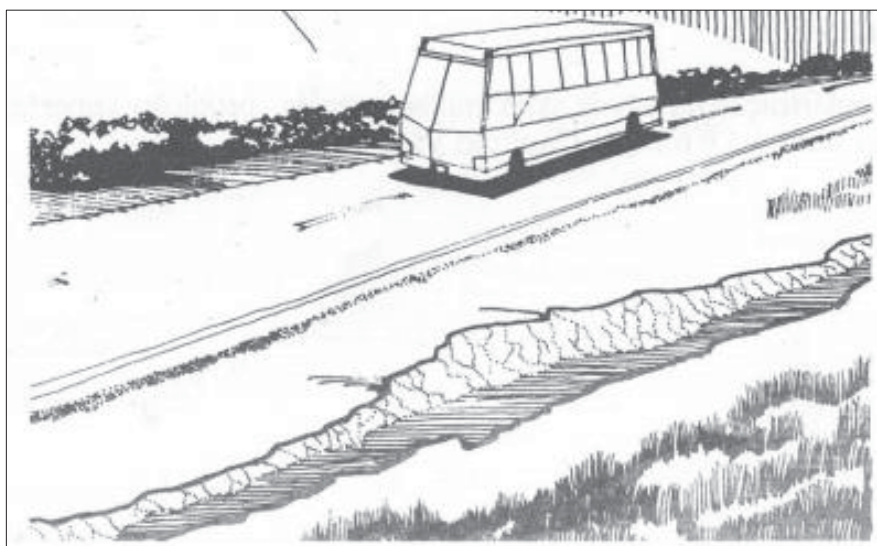
Entende-se que “erosão longitudinal em plataforma” e a “erosão associada a sistemas de drenagem” são classificadas como erosões concentradas, com possíveis diferenças de grau evolutivo, uma localizada ao lado da pista de rodagem e outra

consequência da ruptura de um sistema de drenagem. Entende-se o “*piping*” como uma erosão concentrada decorrente do fluxo subsuperficial que pode evoluir a voçoroca e a “erosão diferenciada” como uma erosão concentrada na forma de sulcos ou ravinas em materiais heterogêneos no quesito erodibilidade do solo.

Erosão longitudinal em plataforma:

É um processo de erosão longitudinal que ocorre ao longo do acostamento, quando há concentração de água superficial, principalmente de chuva, provenientes de taludes e da própria plataforma. O processo é consequência também da falta de proteção superficial e erodibilidade do solo e é possível observar a sua feição por meio do croqui da Figura 2.11 e do exemplo da Figura 2.12.

Figura 2.11 – Croqui de erosão longitudinal em plataforma



Fonte: Carvalho, 1991.

Figura 2.12 – Exemplo de erosão em plataforma



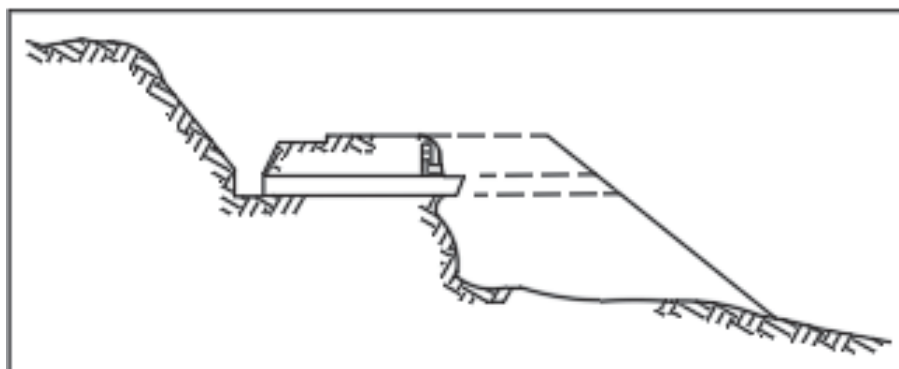
Fonte: A autora, 2018.

Erosão associada a sistemas de drenagem:

As obras de drenagem em uma rodovia, tais como bueiros, canaletas, valetas e sangras, têm a função de disciplinar e conduzir as águas superficiais para fora dos seus limites. Quando estas obras concentram volumes relativamente grandes de água, e seu lançamento é feito de forma inadequada, sem as medidas necessárias para a dissipação de energia, surgem erosões localizadas.

Essa situação interfere diretamente na estabilidade dos taludes de corte e aterro da própria rodovia, além de atingir os terrenos adjacentes, onde a erosão frequentemente evolui para ravinas ou até voçorocas. É possível observar o fenômeno por meio do croqui da Figura 2.13.

Figura 2.13 – Croqui de erosão associada a obras de drenagem



Fonte: Carvalho, *et al.*, 1991.

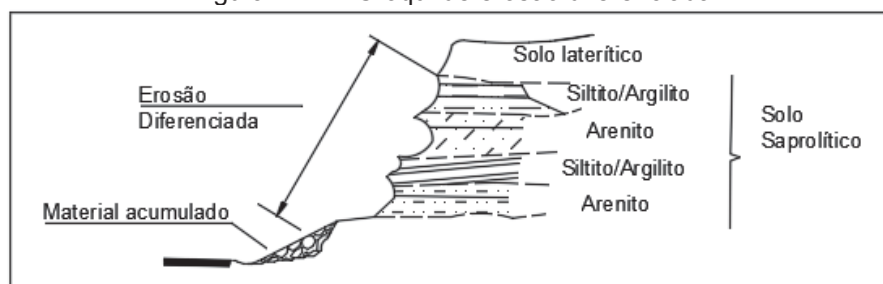
Erosão interna ao maciço (“*piping*”):

Principalmente no caso de aterros, a erosão pode se manifestar através do carreamento das partículas de solo do corpo do aterro pela água, formando-se condutos ou cavidades no interior do maciço ou no contato deste com a fundação. A evolução deste processo pode provocar abatimentos e rupturas nos aterros.

Erosão diferenciada:

Corresponde a processos erosivos que ocorrem em taludes de corte constituídos por materiais com diferentes suscetibilidades à erosão. Este tipo de erosão manifesta-se com intensidades distintas ao longo do talude. Por isso, é comum ocorrer o descalçamento das partes superiores mais resistentes, em consequência de uma erosão mais intensa na camada inferior. Normalmente, estas ocorrências podem estar associadas a diferentes camadas de solos. A Figura 2.14 apresenta um croqui ilustrativo do fenômeno e a Figura 2.15 um exemplo real.

Figura 2.14 – Croqui de erosão diferenciada



Fonte: Carvalho, *et al.*, 1991.

Figura 2.15 – Exemplo de erosão diferenciada em corte



Fonte: A Autora, 2018.

2.2.2 Movimentos de massa gravitacionais

Guerra e Marçal (2006) definem movimentos de massa gravitacionais “como o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água”. Quando os movimentos estão relacionados com a ação da precipitação, essa pode ser por meio de chuvas intensas de curta duração ou chuvas moderadas contínuas. Augusto Filho (1992) determina movimento de massa como qualquer deslocamento de um volume de solo determinado, independente das causas que levaram a tal processo.

Esses movimentos cessam quando a força de atrito supera a força de aceleração imposta à massa deslocada. De acordo com Bigarella (2013), as áreas sujeitas a esses processos podem ser condicionadas pelos seguintes fatores: intemperismo profundo nas rochas, ausência de uma alteração profunda, presença de estruturas sedimentares favoráveis e de variação do litotipo, presença de argilas expansivas, aumento do teor de umidade, possível ação criogênica, tremores ou ação de ondas fluviais ou marítimas.

Os movimentos de massa podem ser enquadrados em duas categorias, de acordo com as tensões envolvidas na ruptura: aumento dos esforços solicitantes ou

diminuição dos esforços resistentes, e diminuição da resistência interna do solo (BIGARELLA, 2013).

Quando há ruptura de uma massa de solo, segundo Gerscovich (2016), ela pode ser dada pela formação de uma superfície de cisalhamento contínua, chamada de superfície de ruptura ou crítica. Assim, em torno desta superfície, forma-se uma zona cisalhada que perde as características durante o processo de instabilização, sendo que primeiro se desenvolve a zona cisalhada e depois a superfície crítica.

- **Fatores condicionantes dos movimentos de massa**

Os movimentos de massa gravitacionais ocorrem em consequência da perda da estabilidade do maciço de solo. O processo de instabilização pode ocorrer devido ao aumento dos esforços atuantes ou devido à diminuição da capacidade resistente.

Os fatores condicionantes aos movimentos de massa gravitacionais, podem alterar a estabilidade do maciço devido às mudanças na parcela referente aos esforços atuantes ou aos esforços resistentes. Sendo que, tais fatores são similares aos que propiciam os processos erosivos:

- Estrutura geológica;
- Geomorfologia;
- Regime de chuvas;
- Perda de vegetação; e
- Atividade antrópica.

Porém, o peso na ponderação da influência das condicionantes em relação aos movimentos de massa gravitacionais é diferente do que em relação aos processos erosivos (BAPTISTA, 2009).

a) Geologia

Os fatores geológicos que condicionam os movimentos de massa gravitacionais levam em conta o tipo e a distribuição dos materiais que compõem o substrato, sendo que esses apresentam diferentes comportamentos quanto à resistência ao cisalhamento, permeabilidade e outras características referentes ao tipo

do solo e tipo da rocha, e conseqüentemente, apresentam diferentes comportamento referente à instabilidade (GUERRA; CUNHA, 2013).

O grau de alteração da rocha e as estruturas anisotrópicas existentes no maciço, sendo ele uma encosta ou um talude, como por exemplo as falhas, disjunções e juntas de alívio, servem como zonas preferenciais de percolação de água e alteração de rocha, diminuindo a resistência e atuando na deflagração dos processos de instabilização. As falhas são estruturas aproximadamente planas ou curviplanas que consiste numa pré-disposição da rocha ou do maciço de solo ao movimento em uma direção. Considera-se também que os processos de instabilização em maciços rochosos ocorrem principalmente em taludes de corte e em áreas de escarpa (DE MOURA, 2014).

b) Geomorfologia

No aspecto da influência geomorfológica nos movimentos de massa, devem ser considerados a inclinação e a forma das vertentes e taludes. A inclinação é um dos fatores que mais influenciam os processos de instabilidade de maciços (BIGARELLA, 2013). Quanto maior a inclinação, maior a probabilidade de movimento, pois os relevos mais acentuados estão sujeitos a maior ação da gravidade, deste modo, os esforços atuantes podem superar mais facilmente os resistentes.

Alguns autores na literatura, como Christofolletti (1980) *apud* Behling (2017), apontam que declividades acima de 30° são mais propensas aos deslizamentos, porém podem ser constatados movimentos de massa em declividades menores quando associadas a depósitos superficiais como colúvios, por exemplo.

Aguiar e Santos (1991) e Cruz (1974) *apud* Bigarella (2013) realizaram estudos na serra do Cubatão em São Paulo e observaram que as vertentes com inclinação maior de 15°, principalmente na faixa de 25° a 35°, apresentaram mais ocorrências de escorregamentos e, acima disso, maior incidência de deslizamentos de pequenos volumes.

Outro fator a ser considerado é a forma de curvatura do perfil de encostas ou taludes. No caso de taludes, cabe ressaltar que a geometria plana pode ser afetada por conta da ocorrência de processos erosivos. De acordo com Guerra e Cunha (2013) as vertentes variam em forma, declividade e comprimento. As variações ocorrem devido a diferenças geológicas, pedológicas, geomorfológicas e climáticas locais.

Deste modo, as vertentes podem ser classificadas quanto as suas formas: côncavas, convexas, retilíneas e, de forma mais rara, a combinação côncava e convexa, formando um “s”.

Em encostas ou taludes que apresentam ocorrências pretéritas de deslizamentos e escorregamentos, tendem a desenvolver um perfil côncavo, já os depósitos de tálus de material coluvionar no pé dessas vertentes tendem a apresentar um perfil mais convexo. A ocorrência de perfis retilíneos pode ser justificada por processos de movimentos de massa do tipo debris. No caso de materiais mais rochosos, a presença de juntas de alívio pode gerar perfis convexas, enquanto camadas alteradas de várias resistências podem originar formas de vertentes compostas (BEHLING, 2017).

De acordo com Bonuccelli (1999), as encostas com perfis côncavas são geralmente mais evoluídas em termos geomorfológicos e estariam menos sujeitas a ocorrência de movimentos de massa, enquanto as convexas seriam menos evoluídas e portanto, mais sujeitas e as retilíneas estariam em situação intermediária.

Segundo Carvalho *et al.* (1991), a influência na estabilidade da encosta em relação à morfologia dos perfis funciona da seguinte forma: as encostas retilíneas tendem a apresentar maiores declividades em geral, do que as convexas, assim são mais suscetíveis a escorregamentos e as encostas convexas apresentam, em média, maiores espessuras de solos, que pode influenciar no sentido de favorecer a instabilidade, potencializando uma ruptura mais profunda. Para Guerra e Cunha (2013) os perfis côncavos, por serem zonas de convergência de sedimentos e de fluxos d'água, são mais favoráveis aos movimentos de massa.

c) Precipitação

O efeito da precipitação na estabilidade de um maciço está vinculado com dois fatores já citados: a infiltração e a ação erosiva da chuva (TATIZANA *et al.*, 1987). Em consequência da infiltração, há a saturação do solo ou o preenchimento em trincas de maciços rochosos. Os processos erosivos podem atuar na instabilidade de um maciço devido à diminuição do confinamento lateral ou por efeito de solapamento.

A variação da quantidade de água no solo modifica algumas propriedades ou parâmetros de resistência dos materiais, como, por exemplo, a diminuição da coesão aparente e a diminuição da sucção. Também ocorre o aumento das solicitações

externas, como o aumento do peso específico dos materiais e aumento da poropressão nos solos, e, conseqüentemente, a diminuição da tensão efetiva. O avanço da frente de saturação no maciço também interfere nas descontinuidades rochosas, causando supressões, e nas forças de percolação. Além disso, a presença de água propicia a dissolução da cimentação e a erosão interna (*"piping"*) (BIGUARELLA, 2013).

O excesso de água também faz com que os materiais coloidais do solo tendam à "liquefação". O fato pode influenciar tanto no movimento do solo como um fluido quanto na lubrificação das partículas diminuindo a resistência ao cisalhamento e propiciando o surgimento de superfícies de ruptura.

Bigarella (2013) afirma que os movimentos de massa não são relacionados apenas eventos pluviométricos excepcionais, mas também com chuvas não tão fortes, mas com longa duração. O autor afirma que o conceito é abordado de forma contraditória na literatura. Wright e Miller (1952) e Caine (1980) associam a maioria dos movimentos ao primeiro dia de chuvas fortes após período seco. Crozier (1968) os relaciona com a ocorrência da sequência de dias com pluviosidade elevada.

d) Vegetação

A interferência da cobertura vegetal é contraditória entre os autores na literatura. Para alguns, a vegetação apresenta papel estabilizador, enquanto para outros a vegetação atua como contribuinte para a instabilização das encostas.

Para os autores que afirmam que a vegetação atua como um fator que auxilia na perda de estabilidade, como por exemplo Varnes (1984) e Bigarella (2013) afirmam que a vegetação diminui o escoamento superficial e aumenta a infiltração. Esse aumento na infiltração faz com que aumente também o peso do maciço de solo, alterando os esforços atuantes, e diminua a resistência ao cisalhamento do solo pelo efeito de lubrificação das partículas. Além disso, o peso das árvores e a força do vento atuando nas árvores causa uma sobrecarga e também faz surgir um momento que potencializa os esforços atuantes e as raízes propiciam o aparecimento de "trincas" no substrato que favorecem a infiltração.

Como já apresentado, a cobertura vegetal auxilia a diminuição dos processos erosivos devido ao fato de atuar no confinamento do solo, na diminuição do escoamento superficial e na diminuição do efeito "*splash*". Porém, alguns autores

como Thomas (1994) comentam que a influência da erosão nos movimentos de massa não é muito claro.

Bigarella (2013) afirma que, por mais que haja vários argumentos que correlacionam a vegetação como agente na perda de estabilidade, sendo que, é possível verificar por meio de fotos aéreas que grande parte dos processos de perda de estabilidade ocorrem em áreas degradadas. As raízes da vegetação que penetram em grandes profundidades funcionam como uma ancoragem em um estrato firme, a interceptação das chuvas pelas folhas faz com que uma quantidade de água evapore antes de atingir o solo.

Se tratando de taludes rodoviários, a cobertura vegetal se restringe às gramíneas e vegetações rasteiras, portanto não se aplicam as considerações de sobrecarga e momento causado por árvores de grande porte e nem o surgimento de trincas por raízes profundas. Tais considerações são mais pertinentes referentes à encosta.

- **Classificação dos movimentos de massa**

Há diversas sugestões de classificação dos movimentos de massa na literatura, algumas das mais usuais são apresentadas em sequência. As classificações levam em consideração algumas características como, por exemplo, o material, a profundidade da ruptura, as velocidades e direção do movimento, a profundidade de raio de alcance, superfície de ruptura, estado de tensões e potencial destrutivo.

Freire (1965) faz a primeira classificação dos tipos de movimentos mais comuns, levando em consideração as características topográficas e morfológicas da massa movimentada e o corpo que se desloca. Observa-se a classificação proposta pelo autor na Quadro 2.12.

Quadro 2.12 – Classificação de movimentos de massa por Freire (1965)

TIPO FUNDAMENTAL				SUBTIPO		CLASSES PRINCIPAIS	
ESCOAMENTO	Consiste em deformação ou movimento contínuo com ou sem superfície definida de escorregamento	RASTEJO (Escoamento Plástico)	Rastejo de solo				
			Rastejo de detritos				
			Rastejo de rocha				
			Solifluxão				
			Rastejo de detritos				
			Geleiras				
		CORRIDAS (Escoamento Líquido)	Corrida de terra				
			Corrida de lama				
			Avalanche de detritos				
ESCORREGAMENTOS	Consiste em deslocamento finito ao longo da superfície de movimento ou deformação	ROTACIONAIS ou TRANSLACIONAIS	Escorregamento de taludes				
			Escorregamento de Base				
			Ruptura do solo ou fundação				
Formas de transição em termos de passagem							
Movimentos de massa complexos							

Fonte: Adaptado de Nieble e Guidicini (1984).

Baseado na classificação de Freire (1965), Varnes (1978) propôs uma nova classificação, amplamente utilizada na literatura, afirmando que os tipos de movimentos em encostas variam conforme o tipo de material que compõe a estrutura do maciço e a velocidade do movimento, conforme pode ser visto na Quadro 2.13 (NIEBLE; GUIDICINI, 1984). Os movimentos complexos são aqueles que se caracterizam pela combinação de dois ou mais tipos apresentados. Posteriormente Cruden e Varnes (1996) incluíram a categoria de rastejo (*“creep”*) na classificação proposta por Varnes (1978).

Quadro 2.13 – Classificação de movimentos de massa por Varnes (1978)

TIPO DO MOVIMENTO		TIPO DO MATERIAL		
		ROCHA	SOLO	
QUEDAS (<i>"fall"</i>)		De rocha	De detritos	De terra
TOMBAMENTOS (<i>"topple"</i>)		De rocha	De detritos	De terra
ESCORREGAMENTOS (<i>"slides"</i>)	ROTACIONAL	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
		De blocos rochosos	De blocos detrito	De blocos de terra
	TRANSLACIONAL	De rocha	De detritos	De terra
EXPANSÕES LATERAIS (<i>"spread"</i>)		De rocha	De detritos	De terra
CORRIDAS/ESCOAMENTOS (<i>"flow"</i>)		De rocha	De detritos	De terra
COMPLETOS		De rocha	De detritos	De terra

Fonte: Adaptado de Varnes (1978).

Outra classificação amplamente utilizada é a proposta por Augusto Filho (1992). O autor divide em quatro grupos principais de tipos de movimentos de massa gravitacionais, que podem ser diferenciados pela quantidade de superfícies de deslocamento, pela velocidade e volume do material mobilizado, pelo tipo de material e também pela geometria (Quadro 2.14).

Há ainda na literatura alguns autores que diferenciam escorregamentos de deslizamentos e de desmoronamentos, como no caso de Terzaghi (1996) e Bigarella (2013). Para os autores, a diferença entre deslizamentos e escorregamentos é que, o primeiro ocorre em uma velocidade mais rápida, quase repentina e desaceleram nas fases finais do movimento. Envolvem massas de solo com dimensões definidas e superfícies individualizadas.

Ainda no conceito de movimentos mais rápidos, os desmoronamentos se enquadram com os deslizamentos e, normalmente, são partes que se desprendem do talude, num movimento vertical, afastando-se do local originário. Os desmoronamentos podem decorrer dos processos erosivos, nesse caso, podem ser considerados como uma etapa evolutiva dos processos.

Terzaghi (1996) e Bigarella (2013) afirmam que os escorregamentos são relativamente menos rápidos que os deslizamentos e tratam da separação de uma superfície de escorregamento bem definida. Normalmente, forma-se uma superfície que se movimenta em relação ao resto do maciço, porém a massa em movimento não se separa do restante do talude.

Quadro 2.14 – Classificação de movimentos de massa por Augusto Filho (1998)

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
RASTEJO ("creep")	Vários planos de deslocamentos (internos)
	Velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade
	Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes
	Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada
	Geometria indefinida
ESCORREGAMENTOS ("slides")	Poucos planos de deslocamentos (externos)
	Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)
	Pequenos a grandes volumes de material
	Geometria e materiais variáveis
	Planares: solos poucos espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza
	Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
QUEDAS ("falls")	Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
	Sem planos de deslocamento
	Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado
	Velocidades muito altas (vários m/s)
	Material rochoso
	Pequenos a médios volumes
	Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.
	Rolamento de matacão
CORRIDAS ("flows")	Tombamento
	Muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas à massa em movimentação)
	Movimento semelhante ao de um líquido viscoso
	Desenvolvimento ao longo das drenagens
	Velocidades médias a altas
	Mobilização de solo, rocha, detritos e água
	Grandes volumes de material
	Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1998).

No contexto rodoviário, os autores que apresentam propostas de classificação abordam os movimentos de massa gravitacionais, principalmente em relação às desestabilizações de taludes, subclassificando muitas vezes em taludes de corte e aterro, como pode ser observado na Quadro 2.15 proposta por Carvalho *et al.* (1991) e na proposta por Blasi (2014) já supracitada (Quadro 2.3, Quadro 2.4 e Quadro 2.5). Carvalho *et al.* (1991) também realiza uma subclassificação dos escorregamentos de acordo com a causa associada.

Quadro 2.15 – Classificação do Manual de Geotecnia do DER/SP (1991)

Quadro 2.15 – Classificação do Manual de Geotecnia do DERVET (1997)		
ESCORREGAMENTOS	Em talude de corte	Devido à inclinação acentuada
		Devido a descontinuidade do maciço
		Devido à saturação
		Devido à evolução da erosão
	Em corpo de tálus	
	Em aterro	Devido a problemas de fundação
		Devido a problemas no corpo do aterro
Devido a problemas em travessia de linhas de drenagem		
Devidos a problemas de drenagem e proteção superficial		
QUEDA DE BLOCOS		
ROLAMENTO DE BLOCOS		

Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.*, 1991.

A seguir, será apresentada a base teórica mais direcionada aos conceitos utilizados para a classificação proposta no estudo em questão, que constitui subclassificar os movimentos de massa em: escorregamento rotacional, escorregamento planar, quedas de bloco e tombamento, rastejo e corridas.

2.2.2.1 Escorregamento Rotacional

Os escorregamentos são movimentos relativamente rápidos de porções de taludes naturais, de cortes ou aterros. Apresentam superfície de ruptura bem definida, que é função do tipo de solo ou rocha, da geometria do talude e das condições de fluxo de água. A ruptura por cisalhamento, ao longo de uma superfície de escorregamento está associada a uma diminuição da resistência ao cisalhamento ou aumento das tensões atuantes.

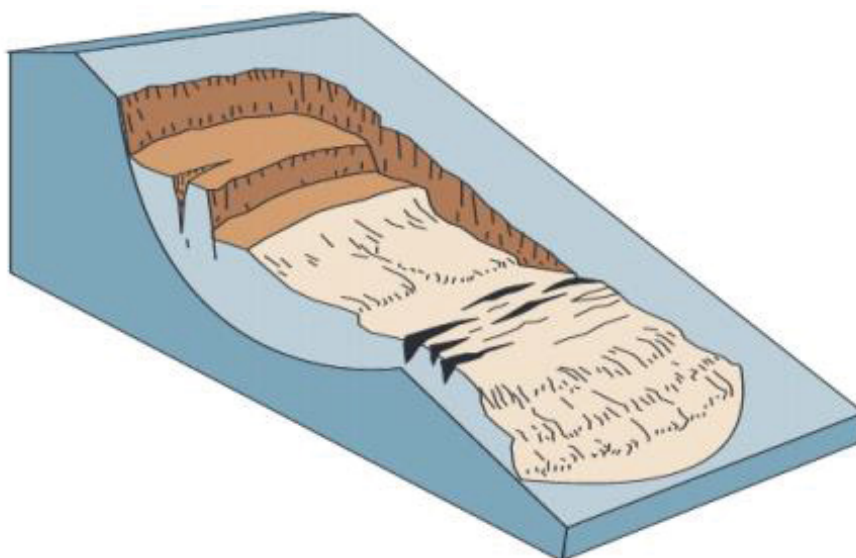
Ocorrem devido a diversos fatores, tendo a água como principal agente deflagrador. Por esse motivo, são observados com maior frequência em períodos chuvosos, sendo que uma das condições mais críticas é caracterizada por um período contínuo de chuvas, de alguns dias, seguido de uma precipitação mais intensa.

O escorregamento rotacional é caracterizado por apresentar a superfície de ruptura curvada e o movimento circular em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude, como pode ser observado na Figura 2.16. Highland e Bobrowsky (2008) definem escorregamento rotacional como sendo um tipo de deslizamento em que a

superfície da ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) e o movimento da queda de barreira é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude.

A massa deslocada por meio de um escorregamento rotacional move-se de maneira relativamente coerente ao longo da superfície de ruptura e com pouca deformação interna, ou seja, o topo do material deslocado pode mover-se quase que verticalmente para baixo, e a parte superior desse material pode inclinar-se para trás em direção ao talude. Se o escorregamento for rotacional e possuir vários planos de movimento paralelos e curvos, é chamado abaixamento “*slump*” (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Figura 2.16 – Ruptura por escorregamento rotacional



Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

Figura 2.17 – Exemplo de Talude de corte apresentando escorregamento rotacional



Fonte: A autora, 2018.

Um exemplo de escorregamento rotacional pode ser observado na Figura 2.17. É possível perceber que a massa de solo que está se desprendendo do maciço (Figura 2.18) está sendo barrada pela contenção em gabião.

Figura 2.18 – Indicação da superfície de deslizamento do talude do talude de corte



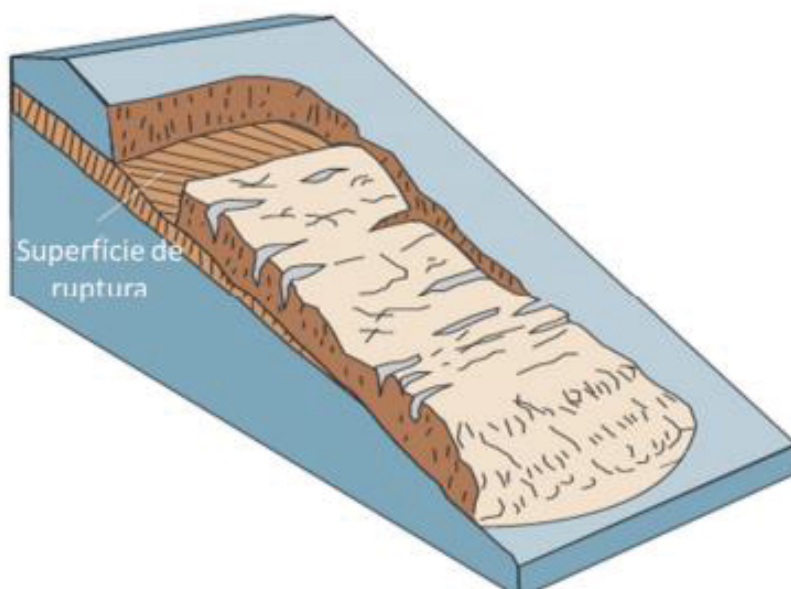
Fonte: Google Earth, 2019.

2.2.2.2 Escorregamento Translacional

Augusto Filho (1992) afirma que o escorregamento planar/translacional (Figura 2.19) é o tipo de escorregamento mais comum e que este ocorre em solos pouco espessos e rochas com um plano de fraqueza, ou seja, descontinuidades geológicas, tais como: falhas, fraturas, superfícies, estratificações, ou o ponto de contato entre rocha e solo. Os movimentos ocorrem em uma superfície plana, moldada pelo substrato, e, em geral, é um movimento de curta duração, de grande velocidade e altamente destrutivo. Highland e Bobrowsky (2008) afirmam que a massa de um escorregamento translacional se move para fora, ou para baixo e para fora, ao longo de uma superfície relativamente plana, com pequeno movimento rotacional ou inclinação para trás.

O escorregamento translacional pode progredir por distâncias consideráveis, se a superfície de ruptura estiver suficientemente inclinada, ao contrário dos escorregamentos rotacionais, que tendem a restaurar o equilíbrio do deslizamento. O material no escorregamento pode variar de solo solto e não adensado até grandes placas de rochas, ou ambos (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Figura 2.19 – Ruptura por escorregamento translacional



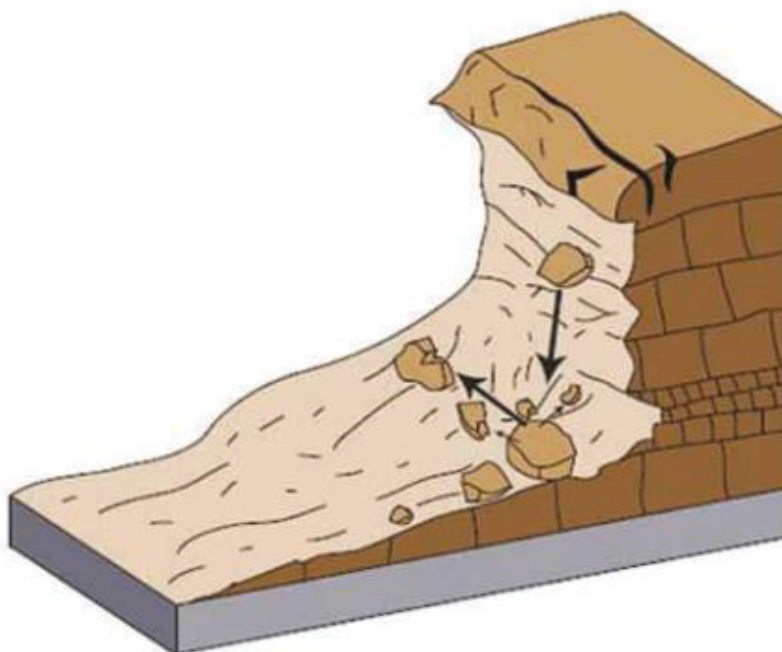
Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

2.2.2.3 Quedas de bloco/tombamento

As quedas são movimentos de material de forma abrupta em encostas ou cortes muito íngremes. Caracterizam-se pelo desprendimento de blocos de rochas instáveis do maciço e está associado tanto ao fenômeno de queda livre, quanto aos fenômenos de rolamento. De acordo com Fernandes (2010), ocorre a rotação em torno de um ponto abaixo do centro de gravidade de um ou vários blocos (Figura 2.20), ou por meio de forças aplicadas por blocos vizinhos, ou ainda por fluidos passantes nas fissuras. Dependendo da inclinação do talude e da orientação de suas descontinuidades, pode acarretar (ou não) com a queda ou deslizamento.

Dentre os movimentos de massa, a queda/rolamento de blocos é o tipo que possui maior dificuldade na previsão do início do processo, da trajetória e do alcance dos blocos (RIBEIRO; BARROSO; BORGES, 2009). A velocidade desse tipo de movimento varia de extremamente lenta a extremamente rápida, às vezes com aceleração durante o movimento, dependendo da distância do deslocamento (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008). Observa-se um exemplo de quedas de blocos pela Figura 2.21.

Figura 2.20 – Ruptura por queda de blocos



Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

Figura 2.21 – Exemplo de queda de blocos



Fonte: A autora, 2018.

Os tombamentos se aproximam da queda de blocos por também englobar os maciços rochosos, mas, por definição, se diferem, pois, são rotações da massa de solo ou rocha em relação um ponto ou eixo localizado abaixo do centro de gravidade da massa deslocada. Enquanto a causa principal das quedas de bloco é mais relacionada com as fraturas existentes no maciço, para os tombamentos essas fraturas são mais intensas, sendo consideradas descontinuidade.

2.2.2.4 Corrida

Os fluxos ou corridas são movimentos similares ao escoamento de líquidos viscosos que geralmente movem-se ao longo da drenagem das encostas. Apresentam velocidades que vão de médias a altas e podem ser compostos de solo, rocha, detritos, água e ar e normalmente têm grande volume, seu alcance é extenso, (inclusive em áreas planas) e tende a ser mais destrutivo quando o volume de material aumenta com a distância percorrida, devido à declividade da encosta e às características da rede de drenagem, por exemplo.

Diferentemente dos outros movimentos de massa gravitacionais, as corridas são necessariamente relacionadas aos eventos hidrológicos e podem ser compostas por materiais sólidos de tamanhos variados (NERY, 2016).

Envolvendo o evento de corridas, há dois fenômenos distintos: corridas de detritos (*debris flow*) e o fluxo de lama (*mudflows*). A principal diferença entre essas duas definições de movimentos é o tipo de material envolvido, sendo que os fluxos de detritos apresentam material grosso, os detritos, enquanto que o fluxo de lama apresenta apenas o solo (MELO, 2014).

De acordo com Melo (2014), uma massa de solo, no estado sólido, pode se tornar fluida (liquefação do solo) pelos seguintes eventos:

- Simples adição de água;
- Efeito de vibração;
- Carregamentos monotônicos ou até mesmo cíclicos (fluidização do solo), em condições não drenadas (liquefação);
- Pelo amolgamento de argilas muito sensíveis.

A liquefação consiste na diminuição da resistência ao cisalhamento efetiva do solo, esta que é induzida por acréscimos de pressões neutras, causando a perda da rigidez da estrutura do solo sob a ação de forças externas, o que leva o solo a se comportar como um líquido viscoso. A perda de estruturação faz com que os grãos passem a não mais se suportarem mutuamente, ficando dispersos no fluido (MELO, 2014).

As corridas de detritos formam sistemas dispersos difásicos que se comportam tal como fluidos não-newtonianos. Elas contêm uma fase sólida, variável conforme a sua concentração em relação ao volume do líquido e ao volume total. A concentração e a granulometria dos sólidos determinam o comportamento reológico das corridas

As corridas se iniciam no estado físico sólido para rapidamente se transformar em um corpo líquido capaz de escoar e, ao cessar o movimento, retorna ao estado sólido. De acordo com o autor, o fenômeno transita entre o domínio geotécnico, sob a forma de escorregamentos, e entre o domínio hidráulico, sob o transporte de sedimentos por arraste e/ou em suspensão.

De acordo com Melo (2014), as corridas podem ocorrer devido: a erosão fluvial, a ocorrência de deslizamentos geradores de fluidizaçã, a saturação do solo por

infiltração e ao aumento da pressão neutra provocado por carregamento muito rápido. Porém, as causas mais frequentes: devido à ocorrência de deslizamentos e ao aumento da infiltração.

2.2.2.5 Rastejo

De acordo com Christofolletti (1980), Nieble e Guidicini (1984) apud Farah (2003) o rastejo é um movimento de massa que se processa de forma lenta e contínua, muitas vezes imperceptível, observado pela deformação do terreno e inclinação da vegetação. O movimento pode alcançar vários horizontes do solo, sendo mais rápido na superfície, e diminuindo, gradualmente, com a profundidade, abrangendo grande área da encosta e possuindo limites indefinidos.

Os autores também apontam que existem três tipos de rastejo: sazonal, no qual o movimento ocorre no interior e no fundo do solo afetado por alterações sazonais; contínuo, no qual a tensão de cisalhamento contínua excede a resistência do material; e progressivo, no qual os taludes atingem o ponto de ruptura gerando outros tipos de movimentação do terreno.

O rastejo pode ser comparado ao movimento de um líquido muito viscoso e geralmente sua superfície de ruptura não é determinada, sendo assim, não é possível definir seus limites (NIEBLE; GUIDICINI, 1984). A ação da gravidade é o principal fator causador desse tipo de movimentação, porém, variações de temperatura e umidade também interferem nesse processo. O movimento de rastejo atinge apenas a parte mais superficial do solo, causando deformações sem que o limite da coesão e da adesão do solo sejam atingidos.

Os maciços que apresentam maior propensão a esse movimento apresentam inclinação relativamente baixa (aproximadamente 13°), deste modo, alguns autores como Highland e Bobrowsky (2008) afirmam que: o rastejo caracteriza-se por ser um deslocamento causado por tensão de cisalhamento interna suficiente para causar deformação, mas insuficiente para causar rupturas, pois, caso a inclinação fosse maior, a tendência do maciço seria apresentar movimentos menos vagarosos.

2.2.3 Deslocamentos verticais

Os deslocamentos essencialmente verticais em maciços de solo podem ocorrer de forma rápida ou lenta, dependendo do fenômeno associado. Os danos que envolvem esses deslocamentos são, em geral, deformações verticais, como afundamento do terreno e recalques, e abatimentos de volumes do solo. Por muitas vezes as deformações são observadas em aterros na ordem de grandeza de centímetros ou até metros. Um exemplo de um caso de deformação vertical no pavimento pode ser observado na Figura 2.22.

As causas mais comuns relacionados ao fenômeno são o acréscimo de peso devido a construção de estruturas, bombeamento de águas subterrâneas, processo de dissolução de rochas (carstificação), retirada do suporte lateral, acomodação de camadas do subsolo por ação do peso próprio e movimentações seguindo plano de falhas e entre outros (OLIVEIRA, 1998). Em alguns casos, podem indicar indícios de movimento de massa ou perda de solo devido aos processos erosivos provenientes de problemas em estrutura de drenagem, como ruptura de bueiros de greide ou galerias (CARVALHO *et al.*, 1991).

Figura 2.22 – Deformação no pavimento indicando recalque



Fonte: Blasi, 2014.

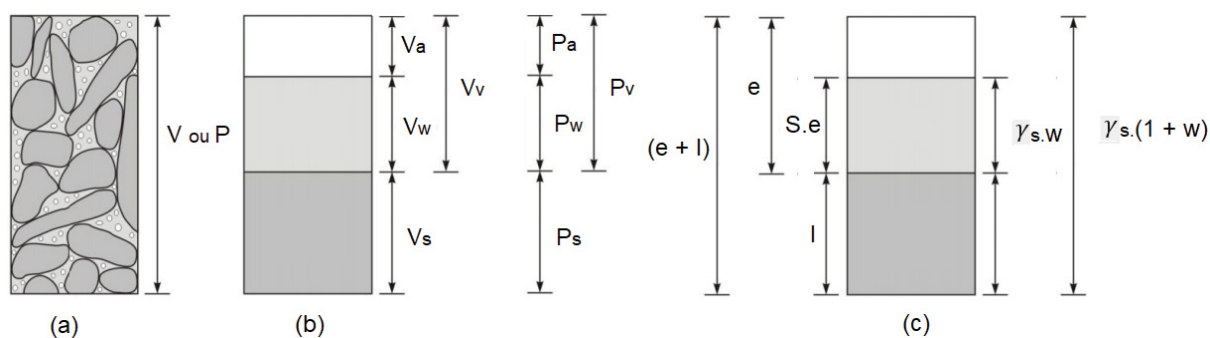
- **Fatores condicionantes dos deslocamentos verticais**

Os deslocamentos verticais estão relacionados a variação do índice de vazios em um solo. O fenômeno está intrinsecamente relacionado aos parâmetros de compressibilidade do solo, ao índice de vazios inicial, ao nível da variação das tensões e ao histórico de tensões em que o solo se encontra.

a) Índice de vazios

Em um volume de solo, parte do espaço é composto por grãos de solo que se acomodam formando uma estrutura. A outra parte é referente aos vazios do solo, sendo que esses podem ser preenchidos por água, por ar ou ambos, em diferentes proporções. Os autores na literatura, como, por exemplo, Pinto (2006), costumam mostrar um esquema (Figura 2.23) com intuito didático mostrando um solo em estado natural (a) separado hipoteticamente em volumes ocupados pelas três possíveis fases (sólidos, ar e líquido) ou (b) separados em pesos pelas três possíveis fases.

Figura 2.23 – As fases do solo: (a) no estado natural; (b) separada em volume e peso; (c) em função do volume e do peso



Fonte: Adaptado de Pinto, 2006.

A variação de volume pode ocorrer devido a expulsão de ar ou água dos vazios, levando em consideração que os grãos de solo podem ser considerados incompressíveis devido a pequena expressividade da sua compressão. A quantidade de vazios presente no solo, ou seja, o índice de vazios (e), pode ser estimada com base em dados de peso específico e teor de umidade, e, a condição hipotética de máxima densidade de um solo seria dada quando o índice de vazios chegasse a zero (LAMBE; WHITMAN, 1969).

Na literatura, a abordagem para redução do índice de vazios é dada sob duas formas: grau de compactação, para solos “secos” e “grau de adensamento/consolidação para solos “saturados”. Porém, em muitos casos os solos podem ser encontrados em estados parcialmente saturados e a diminuição dos vazios ocorre tanto no volume de ar quanto no volume de líquido. Em todos os casos, é necessário estimar qual será o índice de vazios da fundação ou do maciço ao final da obra.

Para quantificar qual a variação do índice de vazios inicial que já ocorreu em relação ao índice de vazios inicial e final para solos saturados, tem-se o grau de consolidação, ou grau de adensamento (U), que pode ser expresso por meio da variação de índice de vazios, tensão efetiva ou poropressão.

Já a compactação, caracteriza-se por ser a diminuição do índice de vazios sem ocorrer a saída de água, e o menor índice possível em determinado solo é função da densidade seca máxima (γ_{dmax}). Existe um teor de umidade ótimo ($w_{ótimo}$) que proporciona a densidade seca máxima por meio da compactação. A água diminui o atrito entre as partículas de solo facilitando o rearranjo, porém, quando existe mais água do que o teor ótimo, compromete-se a diminuição dos vazios devido à oclusão do ar (DAS; SIVAKUGAN, 2016). O grau de compactação (CR) representa qual a porcentagem da densidade máxima que a densidade do solo em campo apresenta, sendo que, o grau de compactação mínimo exigido na normativa federal (ABNT NBR 7.182:2016) é de 95%.

b) Tipo do material

Ao analisar o fenômeno de adensamento, é imprescindível saber qual o tipo de material que está sendo avaliado, pois, de acordo com a sua composição, a magnitude e velocidade podem ter uma expressividade diferente. Por exemplo:

- **Solos granulares não coesivos:** Devido ao elevado valor da permeabilidade, a expulsão da água é instantânea. O comportamento mecânico desses solos é independente do tempo e não apresentam compressão secundária. Deste modo, os recalques ocorrem quase simultaneamente com a aplicação da carga.

- **Solos coesivos saturados:** A variação de volume ocorre lentamente pela expulsão da água dos vazios, deste modo, a consolidação imediata corresponde a uma distorção sem variação de volume.

A Mecânica dos Solos conhecida pelos livros de engenharia (LAMBE; WHITMAN, (1969), TERZAGHI; PECK; MESRI, (1996), PINTO (2006), DAS; SIVAKUGAN (2016) foi desenvolvida em países de clima temperados, onde, de acordo com Bosch (1996), predominam a existência de solos sedimentares, muitas vezes saturados. Assim, os estudos da literatura foram focados nesse tipo de material, analisando o comportamento segundo condições drenadas e não drenadas.

No entanto, a prática da engenharia mostra que diversos solos são caracterizados pelo comportamento coesivo-friccional, como solos de origem aluvial, eólica, coluvional, materiais cimentados e os solos tropicais (lateríticos e saprolíticos) Bosh (1996). Além disso, os solos siltsos também não se enquadram na caracterização de solos puramente coesivos ou solos puramente friccionais. Cabe ao profissional da área geotécnica analisar qual consideração de comportamento utilizar no caso de solos coesivos-friccionais, se o comportamento coesivo ou friccionar. Além disso, o material pode encontrar-se parcialmente saturado, sendo necessário adotar qual o comportamento a ser considerado, se drenado ou não drenado.

Deste modo, é de extrema importância analisar quais os materiais estão presentes na obra e adotar o melhor comportamento levando em consideração fatores de mitigação de eventuais erros, como por exemplo, fatores de segurança mais rigorosos.

c) Histórico de tensões

O comportamento de um solo está ligado diretamente à sua história de tensões, pois o solo “guarda lembranças” em relação às quais tenha sido submetido anteriormente. Assume-se que o solo se encontra no estado normalmente adensado se a tensão vertical efetiva atuante for a maior tensão vertical efetiva que ele já tenha sido submetido ao longo de toda a sua história. Por outro lado, se o solo se encontra sob uma tensão efetiva vertical inferior ao máximo valor já suportado por ele, assume-se que o solo se encontra sobreadensado ou pré-adensado. Desse modo, a definição

de razão de sobreadensamento (ou pré-adensamento) de um solo, conhecido por OCR (do inglês *Over Consolidation Ratio*), é dada pelo coeficiente que expressa a relação entre o maior carregamento em que um solo já esteve submetido em relação a sua condição atual (Equação 06) (DAS; SIVAKUGAN, 2016).

$$OCR = \frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} \quad (06)$$

O gráfico típico do ensaio de carregamento oedométrico, o qual relaciona a tensão vertical com o índice de vazios, sugere o valor de OCR de um dado solo e representa o carregamento cíclico de carga e descarga, sendo que, o valor tensão máxima efetiva vertical em que o solo já esteve submetido é referente ao ponto de maior inflexão da curva. Independentemente da forma como o solo atinge um estado de sobreconsolidação, como fora supracitado, ele retém a memória dessas tensões, sendo que, o solo pode perder o comportamento de sobreconsolidado se a tensão atuante supera a tensão guardada pela memória.

O sobreadensamento pode ser provocado por diversas razões, tais como: remoção de sobrecarga, variação da poropressão causada por variação na cota do nível d'água, bombeamento profundo, entre outros. O valor de σ'_{vm} varia com a temperatura, a velocidade de deformação e até mesmo o tipo de ensaio (PINTO, 2006).

d) Dissolução de rochas (carstificação)

Em locais onde o litotipo predominante são rochas com constituintes solúveis, os processos intempéricos e erosivos, através do tempo geológico, dão origem às áreas cársticas. Essas rochas são, em geral, carbonáticas (particularmente calcários e dolomitos), podendo se referir também a paisagens similares em outras rochas siliciclásticas (arenitos e quartzitos) (PILO *et al.*, 2013).

As rochas carbonáticas são mais suscetíveis ao desenvolvimento de vazios resultados do intemperismo químico devido sua constituição gerar pouco ou nenhum de resíduo insolúvel ($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), dependendo da quantidade de 'impurezas', que são os componentes siliciclásticos como exemplo as margas, rochas carbonáticas com 35-60% de argila. Outras características que contribuem à formação

dessas áreas: clima úmido, vegetação, estruturas rúpteis nas rochas (fratura/falha) e um gradiente hidráulico apreciável.

As regiões cársticas têm potencial para formação de cavidades (cavernas), e a concentração dessas cavidades caracteriza a suscetibilidade a subsidência, abatimentos e colapsos.

e) Solos colapsíveis

Os solos colapsíveis são solos muito compressíveis, ou seja, porosos e que se caracterizam por apresentarem altos índices de vazios. Ao atingir certo grau de saturação ou certo nível de carregamento, perdem a estabilidade. Os grãos grossos de areia são ligados entre si por colóides argilosos ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. E, ao entrarem em contato com a água ou com tensões excedentes ao admissível, os grãos perdem as suas ligações coloidais e rearranjam as suas partículas, ocasionando em uma grande variação volumétrica (MEDERO, 2005).

• **Classificação dos deslocamentos verticais**

O Manual de Geotecnia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) aborda como recalque em aterros fenômenos de abatimento em consequência da baixa capacidade suporte da fundação, ruptura de bueiros e sistemas de drenagem e compactação inadequada (Carvalho, *et al.*, 1991). Embora seja comum utilizar termo para os deslocamentos verticais, foi considerado que recalque são as deformações em uma estrutura devido ao processo de variação volumétrica, assim, foi necessário buscar outras definições para o fenômeno geotécnico.

Varnes (1978) além da proposta de classificação de movimentos de massa gravitacionais supracitada, propôs uma classificação voltada para os deslocamentos essencialmente verticais, chamado pelo autor de subsidência (Quadro 2.16). As subsidências foram separadas em subtipos: subsidências propriamente ditas, recalques e desabamentos e cada subtipo foi separado em classes principais (NIEBLE; GUIDICINI, 1984).

Quadro 2.16 – Classificação de subsidências proposta por Freire (1965)

TIPO FUNDAMENTAL		SUBTIPO	CLASSES PRINCIPAIS
SUBSIDÊNCIA	Consiste em deslocamento finito ou deformação contínua vertical	SUBSIDÊNCIA	Carregamento de grãos
			Dissolução de cavernas
			Deformação de estratos interiores
			Ruptura de estratos interiores
			Retirada de suporte lateral
		RECALQUES	Consolidação
			Compactação
		DESABAMENTOS	Ruptura da camada
			Subescavação
			Retirada do suporte lateral

Fonte: Adaptado de Guidicini e Nieble, 1984.

A seguir, será apresentada a base teórica mais direcionada aos conceitos utilizados para a classificação proposta no estudo em questão, que constitui subclassificar os deslocamentos verticais em: compactação, adensamento e desmoronamento.

2.2.3.1 Compactação

A compactação pode ocorrer no próprio corpo do aterro, lançado para cumprir o greide da rodovia, devido a problemas com a compactação ineficiente na confecção do aterro, ou na fundação que o sustenta. O carregamento vertical ocasionado pelo lançamento do aterro, pela construção das estruturas ou pelo carregamento dinâmico do tráfego nas rodovias, faz com que ocorra acréscimo de tensões no solo e consequentemente o reajuste das partículas, diminuindo o índice de vazios.

A diminuição do índice de vazios pode ocorrer logo após o lançamento do aterro ou estruturas, ocorrendo uma variação de volume imediata, sendo que, de acordo com Terzaghi, Peck e Mesri (1996), a sua grandeza é regida por parâmetros elásticos de deformabilidade do solo. Esse tipo de compactação ocorre geralmente em solos secos e úmidos, sem qualquer alteração do teor de umidade.

2.2.3.2 Adensamento

O termo adensamento na literatura está relacionado com a diminuição de volume devido à saída de água dos vazios e, conseqüentemente, dissipação da poropressão, ou seja, devido ao adensamento primário

O adensamento também é função do tempo, devido à saída de água dos vazios, sendo que esse fenômeno ocorre, em geral, em solos coesivos saturados. O fenômeno de consolidação, conseqüente à saída de água dos vazios, é conhecido na literatura como adensamento primário e varia em função do estado de pré-adensamento do solo e com os parâmetros de compressibilidade do solo (LAMBE; WHITMAN, 1969).

Há ainda outro fenômeno envolvendo o tempo e a diminuição do índice de vazios: o adensamento secundário. Está presente em solos coesivos saturados e solos orgânicos e é resultado do reajuste plástico da estrutura do solo, consequência de uma compressão que ocorre sob tensão efetiva constante.

Todos os solos apresentam o mesmo tipo de curva adensamento x tempo, porém, a escala de tempo e os valores relativos dos três componentes, diferem em ordem de grandeza para os vários solos. Outro fator importante de ser destacado é que a consolidação do solo pode ocasionar recalque em obras de engenharia, como por exemplo, em obras de infraestrutura viária.

2.2.3.3 Desmoronamento

Os desmoronamentos quase sempre possuem um comprimento muito maior que a espessura de massa que se move, deste modo, são relativamente estreitos. Esses movimentos podem ocorrer em taludes que apresentam processos erosivos bem evoluídos, devido ao alívio das tensões laterais no solo que possam atuar como estabilizadoras, devido ao solapamento de blocos de rocha e matacões acarretando em tombamento, ou devido a rupturas em sistemas de drenagens (Figura 2.24). Em geral, os desmoronamentos são relativamente pequenos, apresentando poucas dezenas de metros (BIGARELLA, 2013).

Figura 2.24 – Exemplo de erosão em talude de aterro associada ao sistema de drenagem



Fonte: A autora, 2018.

Os desmoronamentos também podem ocorrer em regiões com suscetibilidade à subsidência em consequência das feições cársticas. A subsidência cárstica corresponde ao abaixamento do terreno devido à ruptura do teto de cavidades subterrâneas ocasionado, muitas vezes, pelo excesso acréscimo de tensão (LOPES; SILVA; SILVA, 2014). Além disso, também há a possibilidade de ocorrer desmoronamentos devido ao fenômeno de colapso.

O colapso é caracterizado pela súbita redução do volume do solo, em consequência ao ganho de umidade com presença ou não de sobrecarga. Os solos susceptíveis a esse processo são denominados solos colapsíveis. A redução pode ser rápida ou gradual e está associada com a perda da cimentação entre as partículas, em consequência da saturação. A saturação permite que as partículas deslizem umas sobre as outras, deslocando-as para os espaços vazios.

Assim, para ocorrer colapso, se faz necessário algumas condições: a presença de solos não saturados e estáveis, tensões totais superiores às admissíveis, solo apresenta agentes de ligações intergranulares ou cimentantes e a condição de ruptura das ligações coloidais (MEDERO, 2005).

2.3 AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Há na literatura diversos métodos para a construção de modelos de decisão, como por exemplo a árvores de decisão, teoria dos jogos e programação linear. Tais métodos vêm sendo denominadas de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) e uma das principais dela é a metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

O método AHP é fundamentada na decomposição e síntese das relações entre os critérios e priorização a fim de se estabelecer uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 2008).

Os elementos que envolvem um problema são estruturados em níveis hierárquicos. Desse modo, identificam-se os elementos chave para a tomada de decisão, agrupando-os em conjuntos afins, os quais são alocados em camadas específicas. Em sequência, são definidas as prioridades.

A priorização dos elementos é dada pelo julgamento de valor de diversos critérios. Uma ferramenta para auxiliar no julgamento de valor é o quadro de julgamento da escala de conversão (Tabela 2.2) apresentada por Millet e Saaty (2000).

Tabela 2.2 – Escala de importância numérica

Importância	Escala numérica
Igual	1
Moderada	3
Forte	5
Muito Forte	7
Absoluta	9

Fonte: Adaptado de Millet e Saaty, 2000.

Por meio da priorização apresentada por Millet e Saaty (2000) é possível determinar uma matriz (Tabela 2.3), que relaciona a importância de um elemento em relação a outro. Os elementos são dispostos na primeira linha e na primeira coluna de forma com que a matriz determine o quanto o critério da coluna esquerda é mais importante em relação a cada critério correspondente na linha superior. Quando confrontado com ele mesmo, a única possibilidade de valor será 1.

Tabela 2.3 – Matriz de comparação pareada a partir da metodologia AHP

Critérios	C1	C2	C3
C1	1	X	1/Y
C2	1/X	1	Z
C3	Y	1/Z	1

Fonte: Adaptado de Millet e Saaty, 2000.

Com base no exemplo, a relação de importância dada no C1, quando esse na coluna, em relação ao C2, deve ser inversa à importância de quando C2 estiver na coluna relacionado com C1 na linha. Desse modo, a matriz sempre será espelhada em relação a diagonal principal.

Para determinar o coeficiente de prioridade de cada variável analisada, deve-se realizar a normalização da matriz. A normalização ocorre em duas etapas: somatório dos elementos de uma coluna e divisão dos elementos de uma coluna por seu somatório. Em seguida, o coeficiente do elemento é dado pela média aritmética dos coeficientes de uma mesma linha.

Os coeficientes de vários elementos podem constituir termos de uma equação em uma dada análise. A soma dos coeficientes deve ser sempre igual ao valor unitário. Além disso, os coeficientes determinados por meio de uma matriz de importâncias devem ser avaliados segundo a consistência.

Em uma matriz recíproca que respeita a propriedade da transitividade, com todos os elementos não negativos, apresenta seu maior autovalor com valor igual a ordem da matriz. Nesse contexto, enquadra-se uma matriz do método AHP, e, desse modo, é possível verificar a consistência dos elementos da matriz por meio da Razão de Consistência (RC) (SAATY, 1990), dada pela Equação 07:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (07)$$

Sendo:

IC = Índice de consistência;

IR = Índice randômico;

O índice de consistência é dado pela Equação 08:

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (08)$$

Onde, $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o auto vetor, e esse é obtido pelo somatório do produto de cada elemento do vetor prioridade pela soma total da respectiva coluna da matriz comparativa.

O índice randômico pode ser obtido para uma matriz recíproca, com elementos não-negativos e gerada de forma randômica ou pela adoção dos valores calculados por Saaty (2008), em função da ordem da matriz, como apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Valores de Índice Randômico

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,53	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Fonte: Saaty, 2008.

Pela razão de consistência, deve-se mensurar o grau da inconsistência em uma matriz de julgamentos paritários por meio da avaliação de quanto o maior autovalor desta matriz se afasta da ordem da matriz, desse modo, se faz necessário que $RC < 10\%$.

2.4 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

A Estatística é uma ciência por meio da qual é possível coletar os dados necessários para inferir a respeito de alguma variável de estudo. É possível realizar a compilação dos dados e informações, por meio de diversas ferramentas que auxiliam no processo de soluções dos problemas enfrentados (TRIOLA, 2008). Para desenvolvimento do trabalho em questão, duas ferramentas estatísticas foram estudadas, o Princípio de Pareto e a Distribuição Normal.

2.4.1 Princípio de Pareto

A curva de Pareto é uma ferramenta da estatística que pode ser utilizada para modelar a regularidade de diversos fenômenos da natureza. A regularidade é em relação a regra 80/20, que pode ser aplicada ao controle e gerenciamento.

Em 1897, o francês Vilfredo Pareto observou em seus estudos sobre a distribuição de renda e das terras na Itália que 20% da população detinha 80% das terras e riquezas na Itália. Pareto também observou que outros fenômenos também apresentavam característica proporcional semelhante. Por exemplo, em sua produção de vagens, o pesquisador notou que cerca de 20% das vagens continham 80% das ervilhas saudáveis, mantendo a proporção 80/20. A proporção ficou conhecida como o princípio de Pareto (DOS SANTOS; RODRIGUES, 2006).

Para ilustração do princípio de Pareto, tem-se a curva de Pareto (curva da porcentagem acumulada). A curva é obtida a partir de uma planilha de categorias e de valores que se pretende analisar e alguns procedimentos matemáticos. Primeiramente, é necessário organizar os valores em ordem decrescente. Em uma coluna adjacente, calcula-se a os totais acumulados, as porcentagens em relação ao total que cada valor representa e as porcentagens acumuladas. A curva é obtida plotando as categorias na abscissa e a porcentagem acumulada na ordenada.

A análise da curva da porcentagem acumulada pode ser útil para análises de priorizações. Por exemplo, na definição de quantos tipos de defeitos devem ser trabalhados, afim de ser atingido certo objetivo de resultado (ROTONDARO, 2002).

2.4.2 Distribuição normal

A distribuição normal é conhecida também como distribuição gaussiana e caracteriza-se por ser um modelo que descreve o comportamento de vários fenômenos aleatórios. As médias de amostras retiradas de distribuição qualquer tendem a apresentar comportamento normal à medida que o número de observações (tamanho da amostra) aumenta.

De acordo com Ara (2003), a probabilidade é a chance real de ocorrer um determinado evento, isto é, a chance de ocorrer um evento em um determinado intervalo. Assim, a Curva Normal é a forma gráfica de uma função densidade de probabilidade $f(x)$ e considera que, uma variável aleatória contínua x , que assume valores entre $-\infty < x < \infty$, tem uma distribuição normal, se a função densidade de probabilidade for dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma^2}} e^{\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}} \quad (09)$$

Dada a equação da curva normal (Equação 09), ela baseia-se em dois parâmetros: a média (μ) e o desvio padrão (σ), e esses definem uma determinada população, com uma característica qualquer. A média refere-se ao centro da distribuição e o desvio padrão ao espalhamento (ou achatamento) da curva. O desvio padrão pode ser calculado pela Equação 10, sendo que n é a quantidade de elementos da amostra e x_i é o valor na posição i no conjunto de dados:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu)^2}{n} \quad (10)$$

A função normal é caracterizada por algumas propriedades, como ter forma de sino e ser unimodal, ou seja, só existe uma moda da distribuição. A curva é simétrica em relação à média e a área sob a curva normal ou abaixo de qualquer função de densidade de probabilidade é 1. Então, para quaisquer dois valores específicos podemos determinar a proporção de área sob a curva entre esses dois valores. Os valores mais utilizados são:

Tabela 2.5 – Porcentagens de área entre um intervalo da Distribuição Normal

Intervalo	Porcentagem
$\mu \pm \sigma$	68,3 %
$\mu \pm 2\sigma$	95,5 %
$\mu \pm 3\sigma$	99,7%

Fonte: Adaptado de Bittencourt e Viali, 2006.

Outra propriedade é que a curva é assintótica, ou seja, nunca toca o eixo horizontal, e, portanto, a função de x jamais se anula. A função tem um máximo, que corresponde ao seu ponto médio (a média da distribuição). Além disso, a curva tem dois pontos de inflexão, simétricos em relação à média, sendo que esses pontos de inflexão são desvio padrão da distribuição normal.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentadas as características da pesquisa e os métodos adotados para seu desenvolvimento, bem como a proposta e a finalidade do conteúdo exposto. Além disso, é apresentado a metodologia utilizada para obter o banco de dados que foi utilizado como unidade de análise para o estudo em questão.

3.1 CARACTERÍSTICA DA PESQUISA

A pesquisa em questão, no quesito utilização, classifica-se por ser uma **Pesquisa Aplicada**. A característica da pesquisa aplicada é dada por uma ênfase prática da solução de problemas. Nesse caso, o problema que busca ser solucionado é a recuperação de débitos socioambientais (passivos ambientais), ao longo das rodovias nacionais. Referente à natureza, enquadra-se na **Pesquisa Quantitativa e Qualitativa**. Desse modo, adotam-se procedimentos sistemáticos para a descrição e explicação de fenômenos, por ser uma pesquisa estruturada, e definem-se hipóteses a ser testadas, por meio de métodos estatísticos e sensibilidade dos dados. Porém, também é utilizada a análise qualitativa como auxílio na quantificação de valores.

A pesquisa também se enquadra no *Design Science Research* (DSR). Esse tipo de modelo envolve construir, investigar, validar e avaliar artefatos tais como: construtos, arcabouços, modelos, métodos e instâncias de sistema de informações. Deste modo, o DSR visa criar soluções para resolver novos problemas práticos.

De acordo com o método, a resolução de problemas necessita seguir o ciclo regulador: (1) Investigação do problema; (2) Projeto de soluções; (3) Validação da solução; (4) Implementação da solução e (5) Avaliação da implementação (com pequenas variações).

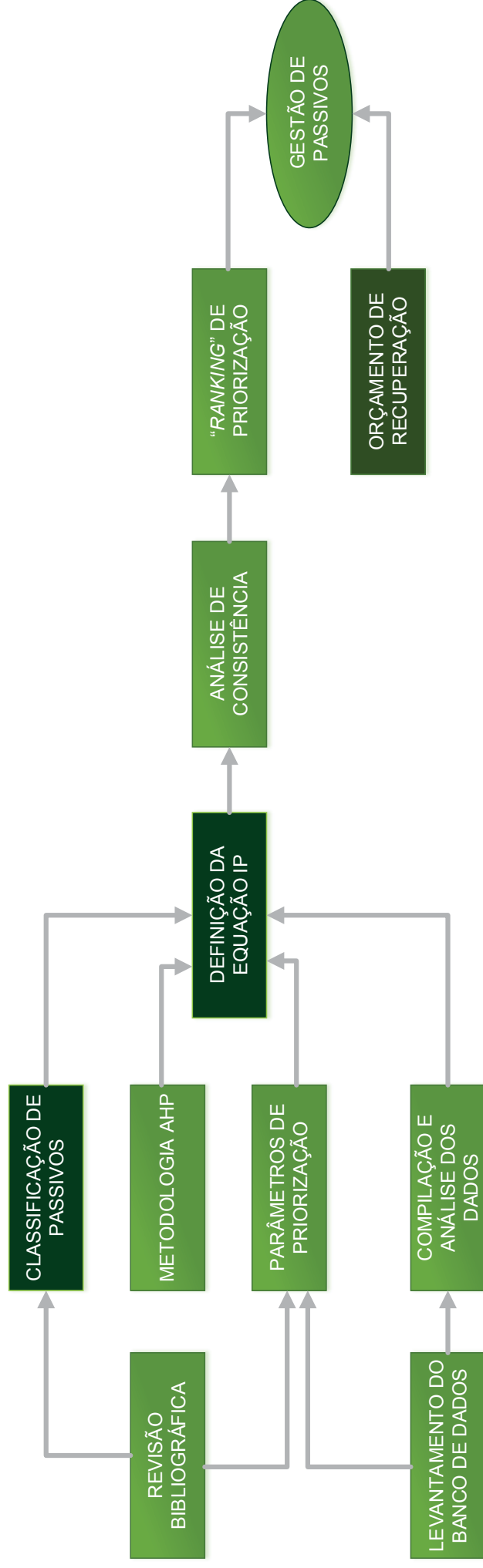
Assim, a pesquisa em questão também se encaixa como **Design Science Research**, devido ao fato de investigar diferentes métodos de cadastramento e priorização de passivos ambientais, bem como a validação de um modelo pré-definido, por meio da aplicação em um banco de dados, atuando como estudo de caso. Desse modo, constrói-se uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão em projetos de recuperação de passivos ambientais rodoviários, visando recuperar os passivos presentes na faixa de domínio.

3.2 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho em questão (Figura 3.1) consistiu em realizar o embasamento teórico, por meio de uma revisão bibliográfica de aspectos teóricos de passivos ambientais, de instabilidades geotécnicas, de ferramenta de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) e ferramentas estatísticas, a fim de determinar um método de classificação e os critérios a serem considerados em uma priorização de recuperação .

A equação de priorização definida foi aplicada no banco de dados de passivos ambientais dos trechos não concessionados da BR 116 e foi avaliada a sensibilidade de cada parâmetro, por meio de um processo iterativo de interpretação de conceitos e análises estatísticas. Assim, consolidou-se a consistência dos parâmetros adotados. Por meio do IP definido, em conjunto com a simulação de orçamento de recuperação dos passivos, foi obtido a base para gerar e fundamentar o modelo de gestão proposto. O método utilizado em cada etapa do estudo será detalhada na sequência.

Figura 3.1 – Metodologia da pesquisa



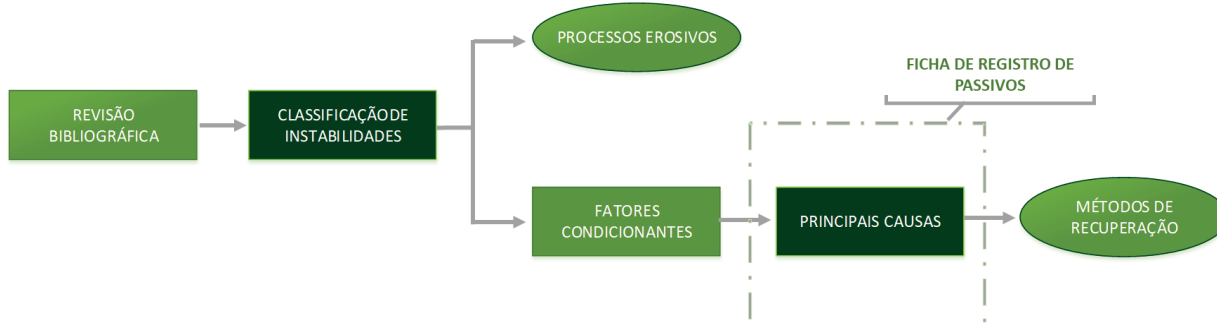
Fonte: A autora, 2019.

3.2.1 Metodologia para classificação

A revisão bibliográfica foi fundamental para definir um método de classificação de passivos ambientais rodoviários com o foco na recuperação. Primeiramente, foi entendido a peculiaridade brasileira a respeito do tema e, em sequência, foram estudadas as classificações de passivos existentes na literatura. Assim, também foram estudados os conceitos de instabilidades geotécnicas, para definir uma nova classificação de passivos ambientais rodoviários.

Além disso, foi discutido a respeito dos fatores condicionantes que influenciam na ocorrência dos fenômenos geotécnicos estudados, afim de auxiliar na determinação das causas de surgimento de um passivo. O esquema da Figura 3.3 ilustra como a revisão bibliográfica auxiliou no processo de formulação da classificação de passivos ambientais e definição das causas associadas. Nesse contexto, a Figura 3.3 apresenta o raciocínio utilizado para obter a classificação “Erosão uniforme”. As demais classificações seguiram lógica semelhante.

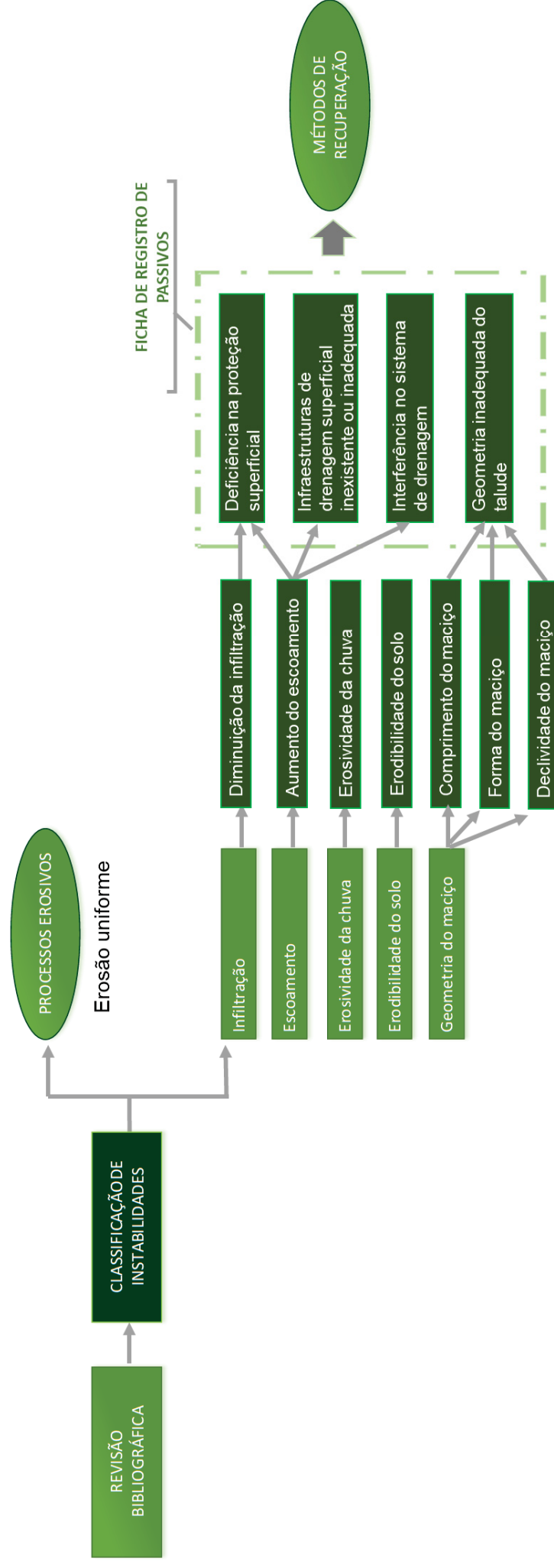
Figura 3.2 – Metodologia de formulação da classificação de passivos ambientais rodoviários



Fonte: A autora, 2019.

As causas associadas podem ser vinculadas a problemas de projeto, de implantação da via ou de manutenção. Alguns desses problemas podem ser evidenciados em campo e foram destacados, a fim de serem incorporados em uma ficha de registro de passivos ambientais rodoviários. Além das causas, foram atribuídas as consequências de acordo com a sua feição, com base em experiência da autora e de profissionais da área. Algumas consequências se repetem em diferentes feições e são fundamentais para definir o risco na equação de priorização de recuperação.

Figura 3.3 – Metodologia de formulação de passivos ambientais rodoviários físicos e/ou materiais



Fonte: A autora, 2019.

3.2.2 Metodologia de priorização

Utilizando a ferramenta de AMD, conhecida como método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), a ponderação de cada critério pré-estabelecido foi definida por meio da importância pareada relativa. Desse modo, foi proposta uma equação de priorização de passivos ambientais, a qual resulta no Índice de Priorização (IP).

Os critérios e a importância de cada critério, em relação ao outro, foram estabelecidos com base na literatura e com base em experiências profissionais da autora e de profissionais da área. Após atribuir as importâncias relativas, a equação foi calculada por meio da matriz de importância pareada e foi obtido a razão de consistência da equação, assim, jugou-se satisfatória a ponderação proposta.

Afim de determinar se a equação gerada era capaz de hierarquizar de forma satisfatória os passivos ambientais encontrados nas rodovias nacionais, foi aplicada a equação para cada passivo ambiental do banco de dados da BR 116.

No contexto da equação de priorização, o esquema da Figura 3.4 detalha os termos utilizados para referenciar os elementos envolvidos. Os elementos a, b, c, d são os critérios definidos para a equação de priorização. Os números que antecedem os critérios (x^a , x^b , x^c , x^d) são os valores ponderados obtidos por meio da matriz de importância (método multicritério à decisão AHP), e os parâmetros são as faixas/escalas possíveis de cada critério (a_1, a_2, a_3 ; b_1, b_2, b_3 ; c_1, c_2, c_3 , d_1, d_2, d_3), ou seja, valores quantitativos obtidos por meio de descrições qualitativas.

Para avaliação dos resultados obtidos, foi elaborada uma planilha (Tabela 3.1) composta das seguintes colunas: identificação do passivo, classificação do passivo, as parcelas de cada critério da equação de priorização e o valor de IP final do passivo, como pode ser observado na Tabela 3.1 ilustrativa. A tabela de cálculo pode ser encontrada no Apêndice 1 no final do trabalho.

Figura 3.4 – Definição dos elementos da equação de priorização

Critérios

$$IP = x^a a + x^b b + x^c c + x^d d$$

$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix}$

Parâmetros

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 3.1 – Tabela utilizada para o definição da equação de prioridade

Passivos	Classificação	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	IP
PASSIVO 1	Classificação passivo 1	<i>a</i> ₂	<i>b</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>d</i> ₁	IP 1
PASSIVO 2	Classificação passivo 2	<i>a</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>d</i> ₅	IP 2
PASSIVO 3	Classificação passivo 3	<i>a</i> ₅	<i>b</i> ₂	<i>c</i> ₅	<i>d</i> ₂	IP 3
PASSIVO 4	Classificação passivo 4	<i>a</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>c</i> ₁	<i>d</i> ₁	IP 4
PASSIVO 5	Classificação passivo 5	<i>a</i> ₃	<i>b</i> ₃	<i>c</i> ₁	<i>d</i> ₁	IP 5

Fonte: A autora, 2019.

Os dados foram hierarquizados (classificados em ordem decrescente) e analisados qualitativamente, ou seja, foi comparado se os maiores IP condiziam com os passivos que se julgavam com maior urgência de reparo pela autora e por profissionais da área. Também foi realizada uma análise de frequência das faixas dos parâmetros definidos, afim de verificar a distribuição do banco de dados. Assim, observou-se que, em alguns casos, os resultados majoritariamente se concentraram em uma faixa de parâmetro/escala, desse modo, foi constatada a necessidade de realizar adequações. Após realizar a redistribuição dos valores e ser verificada a correspondência com a situação em campo, foi considerada satisfatória a definição dos parâmetros e critérios.

3.2.3 Metodologia para Importância das rodovias

Um dos critérios que se julgou importante a ser considerado na priorização de passivos é a importância do segmento rodoviário em que esse está inserido. A importância é em relação ao contexto social-econômico, ou seja, quantas pessoas utilizam a rodovia e qual a representatividade do trecho em rotas de escoamento de carga ou em ligações rodoviárias.

Como mencionado na revisão bibliográfica, a importância da rodovia foi parametrizada por Blasi (2014), por meio de faixas de volume diário de tráfego. Porém, em análise aos dados do volume de tráfego das rodovias federais, por meio do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), foi possível observar que as faixas propostas pela autora estão defasadas. Ou seja, a maioria dos resultados de contagem de tráfego se concentram na primeira faixa de valor. Outro ponto é que, em campo, é difícil determinar qual o volume de tráfego médio anual do trecho em análise sem que seja realizada uma contagem de tráfego.

Assim, fez-se necessário determinar um método que pudesse ser atualizada conforme a necessidade de readequação do tráfego nas rodovias, e que considerasse não só o volume de tráfego total na rodovia, mas também a importância econômica do trecho. O método utiliza o dado de localização geográfica para obter a informação desejada, retirando a subjetividade na abordagem do problema.

Para tanto, os dados referente ao ano de 2017 do Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT, obtidos por meio de consulta ao site do DNIT, foram coletados e planilhados. Os dados são referentes a uma contagem classificatória, desse modo, a planilha foi constituída pelas seguintes colunas: coordenadas do ponto de contagem, volume médio diário anual (VMDa), volume de de tráfego “pesado” e porcentagem de tráfego pesado. O volume de tráfego pesado foi determinado de acordo com o Edital 811/2012 do DNIT (2012) que considera os veículos de classe C até a H da contagem de tráfego classificatória.

Foram definidas 5 faixas de valores para os resultados de VMDa e para os resultados de porcentagem de tráfego pesado, utilizando a premissa de concentrar em cada faixa estipulada 20% dos resultados. Assim, cada faixa de resultado recebeu uma nota de 1 a 5 (classificação) e as notas foram dispostas em uma matriz. A matriz relaciona, no eixo das ordenadas, a classificação do VMDa, e nas abscissas, a classificação do tráfego considerado “pesado”. Para cada posto de contagem foi

calculado um valor dentro da matriz, cruzando o resultado do VMDa com o resultado da porcentagem de tráfego pesado.

Os valores de Importância da rodovia (Ir), para cada ponto de contagem de tráfego (por meio da coordenada), foram processados em um *software* de geoprocessamento (ArcGIS 10.3). Assim, foi gerada uma superfície que considera o valor do Ir e a distância entre os pontos analisados, interpolados pelo método de interpolação IDW. O método é utilizado para o ajuste de superfície e consiste em uma interpolação polinomial local com funções de base radial que considera a ponderação do inverso da distância. O método é um dado de entrada no *software* de geoprocessamento.

A superfície gerada foi sobreposta com o *shape file* das rodovias federais, obtidas no site do DNIT. Foram filtradas as rodovias que estavam contidas no PNCT e recortada a superfície apenas na delimitação dessas rodovias. Assim, foi gerado o “Mapa de classificação da importância das rodovias federais”. Outro mapa foi gerado apenas sobrepondo o arquivo de rodovias do DNIT com a superfície gerada, e esse foi chamado de “Mapa da superfície de extrapolação”.

É possível refazer o procedimento para obtenção do “Mapa de Importância rodoviária”, conforme a atualização no PNCT, realizando os seguintes procedimentos:

- Consultar aos dados do PNCT pelo site do DNIT (<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct>);
- Planilhamento dos resultados, separando os valores de contagem de VMDa e somando os valores de C até H em uma coluna (volume de tráfego pesado);
- Calcular a porcentagem que o volume de tráfego pesado representa em relação ao total;
- Determinar cinco faixas de valores, atribuindo notas de 1 a 5, considerando a disposição de 20% (vinte por cento) dos resultados em cada faixa. Realizar o procedimento para o VMDa e para a porcentagem de tráfego pesado;
- Utilizar a Matriz de importância (VMDa na ordenada e o enquadramento da porcentagem de tráfego pesado na abscissa) para enquadrar das faixas de valores da etapa anterior e obter o valor de Ir para o posto de contagem.

- Plotar em um mapa a localização geográfica do posto de contagem e o valor do I_r , e gerar a superfície de Importância da rodovia por interpolação (inverso do quadrado da distância), utilizando um *software* de geoprocessamento.
- Sobrepor um arquivo das rodovias federais na superfície gerada. As rodovias que não possuem postos de contagem são consideradas como extrapolação.

3.2.4 Metodologia do modelo de gestão

O modelo de gestão consiste em ferramentas substanciais para auxiliar na tomada de decisão. As ferramentas são:

- 1) *Ranking* de priorização;
- 2) Média e desvio padrão dos valores do IP;
- 3) IP crítico;
- 4) Regiões de criticidade.

As ferramentas foram aplicadas ao banco de dados e analisadas sob a ótica do estudo de caso. Na sequência, serão apresentados os métodos utilizados para obter cada ferramenta do modelo de gestão.

- 1) *Ranking* de priorização:

O *ranking* de priorização foi obtido calculando o Índice de Prioridade (IP) para cada passivo do banco de dados, por meio da equação de priorização (Equação 11), proposta no estudo em questão. Para tanto, foi necessário coletar algumas informações em campo, como: Risco do passivo, as Possíveis Consequências, área de Abrangência, Magnitude, coordenada geográfica e Interferência ao Tráfego e Temporalidade. Após calculado o IP, os resultados foram planilhados e ordenados de forma decrescente. Observa-se a planilha do *ranking* obtida para esse estudo no Apêndice 2. Os passivos que ocuparam as posições iniciais foram os que

apresentaram maior urgência na recuperação, de acordo com os critérios pré-estabelecidos.

2) Média e desvio padrão dos valores de IP:

A média e o desvio padrão são valores que definem uma determinada população, com uma característica qualquer. No caso, eles caracterizam o banco de dados. A média caracteriza a amostra e o desvio expressa o quanto a média é representativa ao banco de dados. A média foi calculada pelo somatório de todos os IPs e divisão da soma pelo número de passivos no banco de dados, já o desvio foi calculado pela Equação 13. A média dos valores do IP foi comparada ao valor médio do IP (mínimo valor possível do IP somado ao máximo valor possível do IP e divide-se a soma por dois), afim de identificar se o valor de média do banco de dados está acima ou abaixo do valor médio do IP.

3) IP crítico:

O IP crítico foi um critério estabelecido para auxiliar na urgência do reparo. O critério foi definido com base no conceito do intervalo ($\mu \pm 2\sigma$) que caracteriza a área de 95,5% a baixo da curva de distribuição normal. O intervalo foi considerado sob a premissa de que os passivos que se localizam fora dele destoam da característica da amostra. Ou seja, os passivos que apresentaram uma nota maior ou igual a média mais dois desvios padrão, apresentam uma priorização atípica, caracterizando a urgência de reparo.

4) Regiões de criticidade:

As regiões de criticidades foram definidas com a finalidade de fundamentar abordagens logísticas em planos de recuperação. As regiões foram obtidas com base no valor do IP e na densidade de passivos, interpolados pelo método Densidade de Kernel. O método é utilizado para o suavizar a superfície, por meio do raio de influência (atribuído pelo programa), e calcula uma área de magnitude por unidade, a partir das feições de pontos. A Distribuição é um dado de entrada no *software* de

geoprocessamento (ArcGIS 10.3), que, em conjunto com uma tabela de atributos (coordenadas geográficas e valor de IP), gerou uma superfície.

A superfície caracteriza, em uma escala de cor, a relação entre o valor do IP e a concentração de passivos e define a criticidade da região. A criticidade foi estabelecida em uma escala de nove cores (classes) por meio do Algoritmo de Jenks (quebras naturais). O algoritmo é um dado de entrada do *software* de geoprocessamento e busca minimizar a variância intra classes e maximizar a variância inter classes. Ele possui sua base no método das quebras naturais, no entanto, possui uma base matemática para determinar o valor de seus intervalos. Para o cálculo dos valores dos intervalos do método de Jenks, inicialmente é feito um cálculo da soma dos Desvios Absolutos sobre a Mediana da Classe (DAMC).

O DAMC corresponde a um erro, para o estabelecimento das quebras naturais da série de dados, ou seja, quanto menor for o resultado do DAMC, mais acurada será a divisão das classes. Nesse método de classificação, os dados com menor variação são agrupados, estabelecendo de maneira estatística os padrões espaciais dos dados utilizados.

Assim, as classes foram atribuídas pelo programa, por meio do Algoritmo de Jenks, totalizando nove classificações em cores. A superfície gerada foi recortada em um *buffer* de 250 metros para facilitar a visualização e também por questões estéticas.

Simulação do modelo de gestão:

As ferramentas de gestão foram aplicadas no banco de dados dos passivos levantados em campo para realizar o Programa de Rodovias Ambientalmente Sustentáveis (PROFAS) da BR 116. A metodologia para obter o banco de dados será explicada no tópico em sequência. A estimativa orçamentária de recuperação dos passivos ambientais foi realizada com intuito de exemplificar como as ferramentas de gestão propostas podem ser utilizadas na priorização para um programa de recuperação. Ou seja, exemplificando uma situação real em que se tem definido os procedimentos e investimento necessário para recuperação.

O orçamento foi definido com base em atividades contidas no Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do DNIT, referente ao mês de janeiro de 2019. O custo final estimado foi calculado de acordo com o estado em que o passivo ambiental está inserido e utilizando as dimensões preliminarmente cadastradas. Cabe

ressaltar que os custos com transporte e BDI são considerados por meio de coeficientes de majoração determinados com base em experiência de profissionais da área.

Além de obter o valor do IP e orçamento para todo o banco de dados, foram detalhados três estudos de caso, afim de exemplificar como foram gerados os resultados e realizar uma análise crítica. Para contextualizar a importância da gestão de passivos, o banco de dados em conjunto com o orçamento estimado, foi aplicado ao Princípio de Pareto. Elaborou-se uma planilha contendo a identificação dos passivos e os orçamentos para recuperação em ordem decrescente e os valores foram plotados em uma curva da porcentagem acumulada. A planilha pode ser observada no Apêndice 2.

Para contextualizar a relação do IP com a classificação proposta, os valores obtidos por meio da equação de priorização foram plotados em um gráfico de dispersão. Os gráficos foram gerados por meio de uma tabela que correlaciona o IP do passivo com a sua classificação.

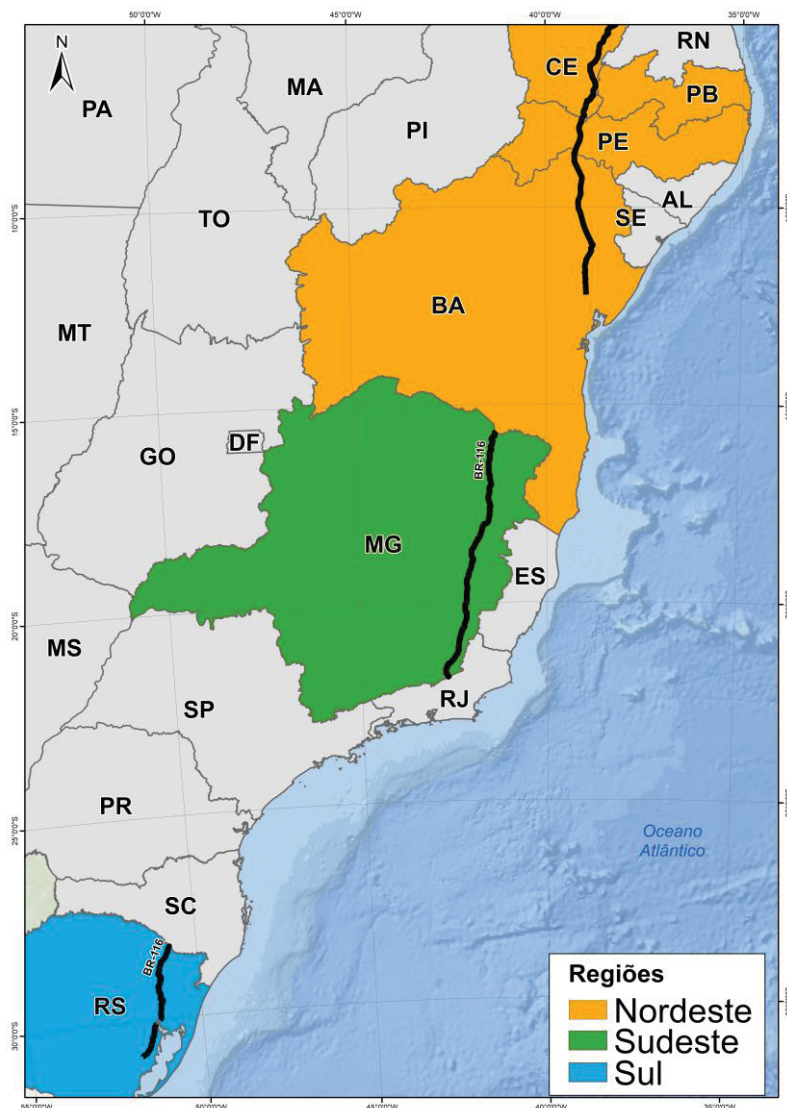
Por último, foi exemplificado três simulações de planos de recuperação, tendo como base as ferramentas de gestão desenvolvidas no trabalho em questão e o orçamento estimado, utilizado para estudo de caso. As ferramentas adotadas na elaboração dos planos foram: o *ranking* de priorização e as regiões de criticidade. As regiões foram separadas em subregiões, de acordo com a escala de criticidade (as nove escalas estipuladas). A quantidade de passivos em cada subregião foi determinada de forma automática por meio da ferramenta do *software* de geoprocessamento.

3.3 LEVANTAMENTO E COMPILAÇÃO DE DADOS

A unidade de análise utilizada para o trabalho em questão é fruto do levantamento de passivos ambientais realizado para cumprir com as exigências do Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis (PROFAS), aplicado à BR 116, em acordo com a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O PROFAS tem por finalidade promover a elaboração e execução dos projetos e atividades necessários à

regularização ambiental das rodovias federais pavimentadas que não possuam licença ambiental.

Figura 3.5 – Localização dos trechos em que foram realizados levantamento de dados



Fonte: Silva *et al.*, 2018.

A amostra obtida para o estudo em questão foi coletada com base no levantamento em campo realizado nos trechos não concessionados da BR-116, com intuito de realizar um Relatório de Controle Ambiental para entendimento ao PROFAS. Os trechos que foram levantados os passivos localizam-se no estado de Pernambuco, Paraíba, parte do estado da Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, como pode ser observado na Figura 3.5. Por meio do levantamento, foram obtidos dados de referência geográfica por GPS, fotos, imageamento aéreo com Aeronave

Remotamente Pilotada, e fichas cadastrais e de caracterização do segmento rodoviário.

A escolha das BR 116 como unidade de análise ocorreu devido à grande quantidade de passivos encontrados na sua faixa de domínio. Além disso, os passivos levantados possuem diferentes tipos de feições. O fato ocorre devido à rodovia atravessar de norte a sul o país e assim conter diferentes condições geomorfológicas, topográficas e climáticas. Além de disso, a BR 116 foi recomendada por Blasi (2014) para utilização como estudo de caso.

Foram cadastrados ao total de 332 passivos ambientais ao longo dos trechos não concessionados da BR-116, ou seja, abrangendo os seguintes estados: Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia, Pernambuco e Paraíba (SILVA *et al.*, 2018). Do total de passivos cadastrados, 187 foram referentes a problemas geotécnicos como, por exemplo, movimentos de massa e processos erosivos.

Em campo, foi utilizada a ficha de registro de ocorrência de passivos ambientais proposta por Blasi (2014). A autora desenvolveu uma Ficha de Levantamento de Passivos Ambientais para Rodovias em Operação (FILPAR), contendo seis campos principais, apresentada por meio da Figura 3.6. A FILPAR foi elaborada com base na ficha apresentada pelo DNIT (2005) e DER (2007) e mostra-se um modelo mais simplificado e condensado do que foi proposto pelos Órgãos. Em escritório, os dados levantados foram organizados em planilhas eletrônicas.

Figura 3.6 – Ficha de Levantamento de Passivos Ambientais para Rodovias em Operação - FILPAR

FICHA DE REGISTRO DE OCORRÊNCIA OU NÃO CONFORMIDADE AMBIENTAL



DADOS DO SEGMENTO RODOVIÁRIO

RODOVIA: _____ IRECHO: _____ DATA: _____ FICHA: _____

KM INICIAL: _____ UTM N INICIAL: _____ UTM E INICIAL: _____ ZONA UTM: _____

KM FINAL: _____ UTM N FINAL: _____ UTM E FINAL: _____

CARACTERIZAÇÃO DO SEGMENTO RODOVIÁRIO

LARGURA DA FAIXA DE DOMÍNIO Lado Esq. _____ Lado Dir. _____ TOTAL _____

PISTA DE ROLAMENTO		ACOSTAMENTO		TERCEIRA FAIXA		RELEVO	
Número de Pistas		Presença de Acostamento		Lado Direito		Plano	
Pavimento Asfáltico		Pavimento Asfáltico		Lado Esquerdo		Ondulado	
Pavimento de Concreto		Pavimento de Concreto		Inexistente		Montanhoso	
Não Pavimentado		Não Pavimentado					
Outros Pavimentos		Outros Pavimentos					

LOCALIZAÇÃO DO PASSIVO AMBIENTAL

DISTÂNCIA AO EIXO: _____ ÁREA DE OCORRÊNCIA Faixa de Domínio: _____ Área Adjacente: _____

KM PONTO	UTM		LADO	E: D:

LOCAL DE OCORRÊNCIA DO PASSIVO AMBIENTAL

GRUPO I - CORPO ESTRADAL	GRUPO II - ANTIGAS ÁREAS DE APOIO	GRUPO III - AÇÕES DE TERCEIROS	GRUPO IV - ÁREAS AMBIENTALMENTE SENSÍVEIS
Pista de Rolamento	Bota-fora	Faixa de Domínio	APP
Acostamento	Caixa de Empréstimo	Terreno Lindeiro	UC
Sistema de Drenagem	Jazida	Outros	Corpo Hídrico
Corte	Instalações Industriais		Outros
Aterro	Canteiro de Obras		
Outros	Caminho de Serviço		
	Outros		

IDENTIFICAÇÃO DO PASSIVO AMBIENTAL

	ESPECIFICIDADE	DIMENSÕES (m)		NÍVEL DE GRAVIDADE
		Prof.	Área (m ²)	
Acesso Irregular				
Alagamento				
Assoreamento				
Contaminação				
Desagregação Superficial				
Erosão				
Movimento de Massa				
Ocupação Irregular				
Recalque				
Supressão da Vegetação				
Outros				

Fonte: Adaptada de Blasi, 2014.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção é apresentado o resultado do presente trabalho, que consiste na proposição de um modelo de gestão de passivos ambientais, incorporando um método de classificação, um método de priorização de recuperação e o estudo de caso por meio de uma estimativa orçamentária. Também é proposto uma ficha de registro de passivos ambientais, condizente com as informações que se fazem necessárias para enquadrar os passivos nos métodos desenvolvidos no trabalho.

Os resultados apresentados foram desenvolvidos com base em uma revisão bibliográfica criteriosa e em um processo iterativo de interpretação de conceitos e análises estatísticas.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS

Como proposição de classificação de passivos ambientais com o foco em recuperação, foi considerado apenas os “passivos físicos e/ou materiais”, mencionados por Pimenta *et al.* (2014), pois esses são passíveis de remediação por meio de obras de engenharia, principalmente no âmbito geotécnico.

Quando identificado um passivo ambiental de natureza física e/ou material, esse deve ser recuperado o mais rápido possível, de forma a diminuir o potencial de risco associado, em função da sua instalação ou do aumento progressivo. Caso não seja possível a completa recuperação, ações de redução de impactos, retardadoras ou medidas compensatórias devem ser adotadas.

O método foi definido sobre a premissa de auxiliar nos processos de recuperação necessários, enquadrando-os no ramo geotécnico, e consiste na adoção de três divisões primordiais, de acordo com os principais fenômenos associados à ocorrência: processos erosivos, movimentos de massa gravitacionais e adensamento. Por exemplo: os processos erosivos estão associados principalmente às **forças de arraste do material**; os movimentos de massa gravitacionais aos **esforços atuantes e resistentes (perda de equilíbrio/instabilidade)** e vinculados à força gravitacional; e os deslocamentos verticais estão associados à diminuição do **índice de vazios (reajuste de partículas)** e, conseqüentemente, a consolidação do material.

Com base nas três divisões, foram adotadas subdivisões de acordo com as classificações propostas em literatura e de acordo com a análise de qual seria a

adoção mais adequada no contexto da recuperação de passivos ambientais rodoviários. As subdivisões são utilizadas na classificação do passivo. Deste modo, foi elaborada a classificação apresentada na Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Classificação dos passivos físicos e/ou materiais

Classificação	
PROCESSOS EROSIVOS	Erosão uniforme
	Erosão concentrada
MOVIMENTOS DE MASSA	Escorregamento rotacional
	Escorregamento translacional
	Queda de blocos/tombamento
	Corrida
	Rastejo
DESLOCAMENTOS VERTICAIS	Adensamento
	Compactação
	Desmoronamento

Fonte: A autora, 2019.

A seguir, são apresentados a descrição de cada divisão adotada e a descrição das subdivisões.

a) Processos erosivos

Para o trabalho em questão, a classificação adotada foi dada com base na subdivisão em erosão uniforme e concentrada, sendo que, a evolução dos processos erosivos da erosão concentrada foi considerada no âmbito de sulcos, ravinas, voçorocas e desmoronamentos.

b) Movimentos de massa gravitacionais

No contexto movimentos de massa gravitacionais, a classificação foi dada com base na subdivisão em:

- Escorregamento rotacional;
- Escorregamento translacional;
- Queda de blocos/tombamento;
- Corrida;
- Rastejo.

Não foi realizada a diferenciação dos escorregamentos e deslizamentos com base na velocidade de ocorrência, pois, em relação as ações de recuperação, pode ser adotada a mesma solução para ambos os movimentos.

A separação entre escorremenento rotacional e translacional se deu com base em que, no primeiro, ocorre em um maciço homogêneo, em solos com parcela de coesão significativa, principalmente pela formação da superfície de ruptura, em virtude das forças atuantes superarem a resistência ao cisalhamento. Já o segundo, ocorre sob influência de um plano preferencial de descontinuidade, em solos predominantemente arenosos, geralmente oriundo de fissuras ou dado pela heterogeneidade do solo.

Quedas de bloco e tombamentos, embora possuam algumas diferenças em relação ao eixo de rotação e a origem e forma das fraturas, ambos são influenciados pela ocorrência de fraturas no maciço e possuem técnicas de recuperação semelhantes.

Já as corridas, são relacionadas com a fluidização do solo normalmente por saturação do maciço, perdendo não só a coesão, mas sim a adesão entre as partículas. Também foi abordado o rastejo, que trabalha com as deformações plásticas do solo, devido os esforços atuantes atingirem o limite de plasticidade, mas não serem suficientes para romper o solo por cisalhamento.

c) Deslocamentos verticais

Para o trabalho em questão, os deslocamentos verticais, rápidos e abruptos ou graduais com o tempo, foram subclassificados em:

- Compactação;
- Adensamento;
- Desmoronamentos.

O termo recalque não foi considerado para agrupar as subclassificações, pois considera-se o reclaque uma consequência da interação dos processos com as estruturas.

A diminuição do volume de um maciço de solo ou a consolidação da fundação em consequência da interação entre a sobrecarga e a saída de água dos poros foi definida como adensamento. Sob premissa similar, a compactação está relacionada

com a diminuição do índice de vazios ocasionado pela saída de ar. Os processos de adensamento e compactação são graduais ao longo do tempo, já o desmoronamento, é um fenômeno imediato. Assim, o desmoronamento está relacionado com a súbita redução de volume do solo.

- **Possíveis causas e prováveis consequências do passivo**

A feição do passivo está vinculada com a classificação, e, como supracitado, a classificação foi determinada com base no fenômeno associado. O fenômeno está vinculado às diversas causas de ocorrência e pode ser responsável por gerar diversas consequências.

A importância em se determinar as causas da origem de uma feição fundamenta-se sob a premissa de auxiliar na identificação e classificação do passivo, bem como na determinação do melhor método de recuperação. Pois as técnicas utilizadas devem atuar diretamente na prevenção ou proteção.

Além disso, cada feição dentro de sua classificação e subclassificação pode ser associada a diversas consequências, sendo que, as consequências auxiliam na determinação do risco do passivo. As consequências, em geral, se resumem em:

- Degradação da paisagem;
- Acúmulo de sedimento sobre a pista;
- Assoreamento de sistemas de drenagem;
- Desconforto e insegurança dos usuários;
- Assoreamento de cursos d'água;
- Comprometimento da estrutura do pavimento;
- Comprometimento do sistema de drenagem;
- Danos a lindeiros;
- Interferência em OAE;
- Indução a problemas geotécnicos;
- Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento;
- Acidentes.

Dentre as causas associadas ao surgimento (Quadro 4.2, Quadro 4.3 e Quadro 4.4), algumas podem ser observadas em campo e devem ser incorporadas em uma ficha de registro de passivos ambientais rodoviários.

Quadro 4.2 – Causas associadas à classificação do passivo

Classificação	Principais causas	Geradores das principais causas
Erosão uniforme	Diminuição da infiltração	Deficiência na proteção superficial
	Aumento do escoamento superficial	Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada
	Comprimento do maciço	Geometria inadequada do talude
	Declividade do maciço	Interferência no sistema de drenagem (falta de manutenção, assoreamento, resíduos sólidos)
	Forma do maciço	
	Erodibilidade do solo	
	Erosividade da chuva	
Erosão concentrada	Escoamento superficial tornando turbulento	Infraestruturas de drenagem profunda inexistente ou inadequada
	Formação de canais de escoamento	Deficiência na proteção superficial
	Comprimento do maciço	Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada
	Declividade do maciço	Geometria inadequada do talude
	Forma do maciço	Interferência no sistema de drenagem (falta de manutenção, assoreamento, resíduos sólidos)
	Aumento do nível do lençol freático	
	Evolução de processos erosivos	
	Erodibilidade do solo	
	Erosividade da chuva	
Escorregamento rotacional	Saturação do maciço	Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada
	Sobrecarga	Infraestruturas de drenagem profunda inexistente ou inadequada
	Declividade do maciço	Deficiência na proteção superficial
	Forma do maciço	Geometria inadequada do talude
	Desconfinamento lateral	
	Solo com baixa resistência ao cisalhamento	

Fonte: A autora, 2019.

Quadro 4.3 – Causas associadas à classificação do passivo

Classificação	Principais causas	Geradores das principais causas
Escorregamento planar	Superfície de contato entre rocha e solo	Processos intempéricos
	Diferenças pedológica	Processos pedogenéticos
	Falhas geológicas	Processos endógenos
	Saturação do maciço	Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada
	Sobrecarga	Infraestruturas de drenagem profunda inexistente ou inadequada
	Declividade do maciço	Deficiência na proteção superficial
	Forma do maciço	Geometria inadequada do talude
	Evolução de processos erosivos	
Queda de blocos/tombamento	Fraturamento excessivo	Processos endógenos
	Infiltração de água nas fraturas	Processos intempéricos
	Infiltração de raízes nas fraturas	Deficiência na proteção superficial
	Solapamento/Descalçamento	Evolução de processos erosivos
	Descontinuidade do maciço rochoso	
Corrida (<i>debris flows</i> ou <i>mudflows</i>)	Saturação do maciço	Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada
	Fluidização	Infraestruturas de drenagem profunda inexistente ou inadequada
	Amolgamento de argilas sensíveis	Escorregamentos e quedas de blocos
		Deficiência na proteção superficial

Fonte: A autora, 2019.

Quadro 4.4 – Causas associadas à classificação do passivo

Classificação	Principais causas	Geradores das principais causas
Rastejo	Amolgamento de argilas sensitivas (argilas 2:1)	Presença de argilas com minerais 2:1
	Declividade do maciço	Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada
	Processos de umedecimento e secagem	Infraestruturas de drenagem profunda inexistente ou inadequada
	Sobrecarga	Deficiência na proteção superficial
	Solo com baixa resistência ao cisalhamento	
	Forma do maciço	
Adensamento	Saída de água	Infraestruturas de drenagem profunda inexistente ou inadequada
	Sobrecarga	Sobrecargas imprevistas
Compactação	Saída de ar	Erro de dimensionamento da camada suporte do aterro
	Sobrecarga	Erro de dimensionamento ou execução da compactação
		Sobrecargas imprevistas
Desmoronamento	Saída rápida de água	Rebaixamento do lençol freático
	Evolução de processos erosivos	Sobrecargas imprevistas
	Sobrecarga	Erro de dimensionamento da camada suporte do aterro
	Presença de solos colapsíveis	Processos intempéricos
	Presença de cavidades	Processos pedogenéticos
		Processos endógenos

Fonte: A autora, 2019.

4.2 GESTÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS

A seguir, é apresentado o método de priorização de passivos ambientais rodoviários com base no Índice de Prioridade (IP), bem como o modelo de gestão, por meio da análise estatística de forma integrada do IP com o investimento de recursos monetários necessário. O modelo de gestão de passivos proposto se enquadra no contexto de “passivos físicos e/ou materiais”, ou seja, não se enquadra no contexto de “passivos sociais, morais ou de natureza jurídica”.

Primeiramente, é apresentada o método de priorização que consiste na equação de priorização. Na sequência, é realizada a análise da consistência da equação proposta, por meio de processos iterativos e análises de sensibilidade. Nesse contexto, no item 4.2.2, é citado as adequações que foram realizadas até ser obtido o resultado final. Cabe ressaltar que a ponderação dos critérios não foi alterada,

portanto, as alterações se resumem em adequações nas análises quantitativa e qualitativas dos parâmetros.

É apresentado também as ferramentas desenvolvidas para o modelo de gestão, bem como os principais resultados obtidos aplicando as ferramentas de gestão no banco de dados dos passivos ambientais. Além disso, também estão presentes discussões dos resultados.

No final do capítulo, é proposto uma ficha de registro e caracterização de passivos ambientais rodoviários, contemplando os dados necessários para aplicar método de classificação e o método de priorização propostos.

4.2.1 ÍNDICE DE PRIORIDADE

Devido à subjetividade existente nos modelos de priorização apresentados na revisão bibliográfica, para determinar a prioridade de recuperação, utilizou-se da parametrização baseada em modelos matemáticos. Primeiramente, definiram-se quatro como sendo os principais fatores que influenciam na importância que um passivo tem em relação ao outro, a saber: o Risco (R), a Grandeza (G), a Importância da rodovia (Ir) e a Interferência no tráfego e Temporalidade (IT). Desse modo, a equação de priorização proposta é função desses quatro critérios (Equação 11), cada um com o seu peso estabelecido, por meio da matriz de importância pareada (Tabela 4.1), com base no método AHP (Tabela 2.3), considerando uma importância relativa (Tabela 2.2).

$$IP = 0,55 * R + 0,25 * Ir + 0,10 * G + 0,10 IT \quad (11)$$

Tabela 4.1 – Matriz de comparação pareada para os critérios definidos

Crítérios	R	Ir	G	IT
R	1	3	5	5
Ir	1/3	1	3	3
G	1/5	1/3	1	1
IT	1/5	1/3	1	1

Fonte: A autora, 2019.

A Razão de Consistência (RC) calculada foi de 1 %.

Os critérios adotados na equação de prioridade tiveram como princípio os já abordados por autores apresentados na revisão bibliográfica. Porém, com as adequações que se jugaram necessárias e que são descritas na sequência.

A consideração do risco na priorização já era utilizada por alguns autores na literatura, como o Grau de Risco proposto pelo DNER (2007) e a Gravidade de Ocorrência apresentada por Blasi (2014). Porém, visando diminuir a subjetividade na análise do risco, foi considerado o Risco por meio da probabilidade de ocorrência e as possíveis consequências do passivo.

O parâmetro “Importância da Rodovia (IR)” teve como premissa o parâmetro “Tráfego (T)” abordado por Blasi (2014). Contudo, com base nos dados coletados dos postos de contagem nas rodovias nacionais (Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT), foi observado que as faixas de volume de tráfego estipuladas no parâmetro apresentado pela autora estão defasadas.

Além disso, acredita-se não ser possível verificar qual a faixa de volume de tráfego que o trecho se enquadra, em campo, sem que seja realizado algum procedimento de contagem de tráfego. Assim, foi desenvolvido método de análise da Importância da rodovia (Ir), que é apresentado no item “4.2.1.2 Importância da rodovia”.

O parâmetro Grandeza (Magnitude e Abrangência) foi adotado a fim de considerar de forma mais objetiva a evolução dos processos do passivo (processos erosivos, movimentos de massa e deformações verticais). Assim, as feições que apresentam um elevado grau de evolução recebem um parâmetro com maior valor na priorização.

A tendência a evolução já era abordada pelo Índice de Risco (IR) apresentado pelo DNIT (2006), por meio da análise das condições morfoclimáticas locais, e também pelo parâmetro Tendência de Evolução (TE) proposto por Blasi (2014). Porém, os critérios eram abordados de forma subjetiva, dependendo da opinião do responsável por realizar o registro do passivo.

A interferência que o passivo pode gerar no fluxo de veículos era abordado de certa forma pelo critério Interferência (I), proposto por Blasi (2014). Mas, foi sugerido a consideração da interrupção total ou parcial do tráfego, bem como a consideração temporal dessa interrupção, ou seja, quanto tempo demanda a recuperação do passivo.

Após definido os critérios, foi considerado o Risco como o de maior relevância, pois, passivos que representam maior risco ao usuário ou ambiente devem ser recuperados, evitando que danos maiores aconteçam. Na sequência, foi considerada a Importância da rodovia, em consequência de ser o critério responsável por representar maior potencial de dano (social e econômico) caso o perigo se instale. Os critérios Grandeza e Interferência no tráfego e Temporalidade foram considerados empatados por último na relevância. O fato foi consequência de esses terem sido considerados critérios secundários, porém importantes para hierarquizar passivos que atingiram notas semelhantes ou muito próximas devido a valoração dos dois critérios principais (Risco e Importância da rodovia).

Nesse contexto o Risco foi considerado com uma importância moderada em consideração a Importância da rodovia (três vezes mais importante) e com uma importância forte em relação a Grandeza e Interferência no tráfego e Temporalidade (cinco vezes mais importante). O critério Importância da rodovia foi considerado moderadamente mais importante que o critério G e IT, sendo que esses foram considerados entre si com igual importância. As importâncias pareadas, como supracitado, foram dispostas na forma de matriz e podem ser observadas na Tabela 4.1.

A seguir, são apresentados os conceitos de cada critério definido como importante, com seus respectivos pesos, para o cálculo de uma priorização de recuperação de passivos ambientais. Também é apresentada uma descrição dos parâmetros, visando auxiliar na análise qualitativa e quantitativa.

4.2.1.1 Risco

A presença de uma ocorrência na rodovia passa a ser um passivo, devido a necessidade de intervenção, por conta do risco que pode proporcionar. O risco do passivo ambiental rodoviário envolve três tipos possíveis de danos: ao usuário, ao patrimônio e ao ambiente. Os danos ambientais podem estar relacionados com os recursos hídricos, com a atmosfera, com o solo ou subsolo, com a biodiversidade e entre outros. Os danos ao usuário podem envolver desconforto, perda de qualidade de vida, danos à saúde ou até a perda de vidas. Já os danos ao patrimônio dizem

respeito à intervenção na operabilidade da via e à necessidade de investimento público.

O conceito de risco é definindo pela norma ISO/IEC Guide 73:2002, como: “A combinação da probabilidade de um evento e suas consequências”, pela norma AS/NZS 4360:2004 como a oportunidade de acontecimentos de alguma coisa que causará impacto nos objetivos e pela norma ABNT NBR ISO 31000:2009 como o “efeito da incerteza nos objetivos”. Desse modo, o risco está sempre relacionado com a probabilidade de um evento ocorrer e a valoração do prejuízo correlacionado.

- **Probabilidade de ocorrência do passivo**

A probabilidade, no contexto de passivos ambientais rodoviários, se dá em questão do “perigo” que o passivo representa. Sendo que esse pode ser em relação a três aspectos: ao ambiente, ao usuário ou à via. A probabilidade é definida com base se o passivo proporciona ou não perigo aos aspectos citados, podendo ser classificado como “sem perigo”, “perigo potencial”, “perigo eminente” (está quase ocorrendo) ou “perigo instalado” (se já está causando danos a um ou mais dos aspectos).

Com base em cada característica qualitativa de probabilidade de risco atribuída, correlaciona-se com uma valoração, afim de se obter uma análise quantitativa. Desse modo, a correspondência dos valores pode ser observada por meio da Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valoração da probabilidade

Atributo	Valoração
Sem perigo	0,0
Potencial	0,5
Eminente	1,0
Instalado	1,5

Fonte: A autora, 2019.

- **Prováveis consequências do passivo**

As causas de um passivo podem auxiliar no processo de classificação, mas são as consequências que determinam a parcela referente ao prejuízo. Assim, como visto no item 4.1, cada passivo tem suas consequências correlacionadas (Tabela 4.3),

sendo que essas têm relevância diferente no contexto de dano que pode causar. Desse modo, cada passivo pode ter mais de uma consequência, e a valoração da consequência é dada pela soma de todas as que foram incluídas na ficha de registro do passivo ambiental.

Tabela 4.3 – Valoração da consequência

Atributo	Valoração
Degradação da paisagem	0
Acúmulo de sedimento sobre a pista	0,2
Assoreamento de sistemas de drenagem	0,2
Desconforto e insegurança dos usuários	0,2
Assoreamento de cursos d'água	0,3
Comprometimento da estrutura do pavimento	0,3
Comprometimento do sistema de drenagem	0,5
Danos a lindeiros	0,5
Interferência em OAE	0,5
Indução a problemas geotécnicos	0,7
Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento	0,7
Acidentes	1,2

Fonte: A autora, 2019.

Ressalta-se que, o Risco que o passivo proporciona, em relação a qualquer dos aspectos socioambientais, é dado pelo somatório das consequências multiplicado pelo perigo associado (probabilidade de ocorrência).

4.2.1.2 Importância da rodovia

O conceito de “Importância da rodovia” está atrelado a uma importância relativa, pois, de acordo com cada critério a ser analisado um segmento rodoviário pode ser classificado como importante ou não. Porém, no contexto de passivos ambientais, as rodovias mais importantes, na visão da autora, podem ser consideradas aquelas de maior influência econômica, ou seja, que interconectam polos regionais, industriais e agrícolas. Desse modo, a presença de um passivo ambiental em rodovias de maior importância acarreta em uma maior probabilidade de acidentes com usuários e em um maior incomodo e prejuízo econômico, caso seja necessário parar parcialmente ou totalmente o tráfego.

Para o estudo em questão, relaciona-se a importância da rodovia com dois parâmetros: o volume de tráfego total, por meio do volume médio diário anual (VMDa), pois, assim, consideram-se as rodovias com volume de tráfego mais intenso, e o porcentagem de tráfego pesado, pois, desse modo, consideram-se rodovias que fazem parte de rotas logísticas de escoamento de carga. Assim, foi adotada uma metodologia para determinação da importância de um trecho rodoviário, a qual será apresentada na sequência.

- **Metodologia para cálculo da Importância da rodovia**

Salienta-se que “Importância da rodovia” foi atribuída com base em uma importância relativa, a qual compara um trecho em questão com os demais trechos das rodovias federais do Brasil. Com base nos dados de contagem de tráfego disponibilizados pelo DNIT, por meio do Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT, foi estabelecida uma valoração da Importância da rodovia através de uma “Matriz de Importância da rodovia”, apresentada na Tabela 4.4 e Tabela 4.5.

Tabela 4.4 – Matriz de Importância das rodovias federais

VMDa / %	5	4	3	2	1
5	5	5	4	4	3
4	5	4	4	3	3
3	4	4	3	3	2
2	4	3	3	2	2
1	3	3	2	2	1

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 4.5 – Atributos da Matriz de importância

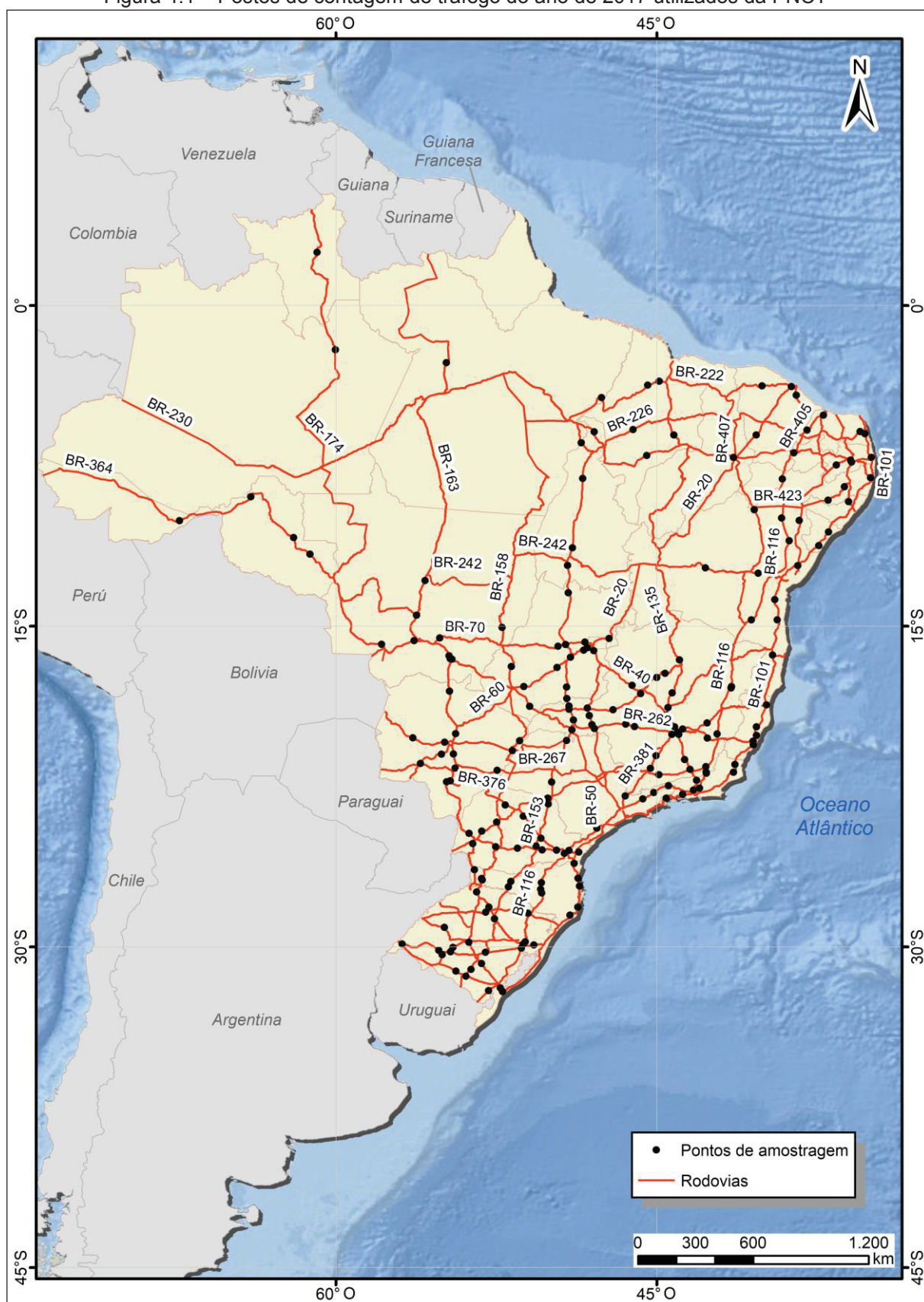
Atributo	Valoração
Importância baixa	1,0
Importância marginal	2,0
Importância remota	3,0
Importância considerável	4,0
Altamente importante	5,0

Fonte: A autora, 2019.

A matriz relaciona no eixo das ordenadas à classificação do tráfego total e nas abscissas à classificação do tráfego considerado “pesado” – transporte de grande quantidade de mercadoria, definido como tráfego com de veículo classe C até H (Edital 811/2012 - DNIT), com mais de dois eixos –.

Para definir tais classificações, foram considerados todos os dados de contagem de tráfego (Figura 4.1), referente ao ano de 2017. Ao total, foram considerados 200 postos de contagem, englobando as seguintes rodovias: BR-101, BR-104, BR-110, BR-116, BR-135, BR-153, BR-158, BR-163, BR-174, BR-020, BR-222, BR-226, BR-230, BR-242, BR-262, BR-267, BR-277, BR-285, BR-287, BR-290, BR-293, BR-364, BR-365, BR-367, BR-369, BR-376, BR-381, BR-386, BR-392, BR-40, BR-405, BR-407, BR-408, BR-412, BR-423, BR-050, BR-060, BR-070 e BR-092.

Figura 4.1 – Postos de contagem de tráfego do ano de 2017 utilizados da PNCT



Fonte: A autora, 2019.

Em uma análise dos dados, com base na distribuição dos valores, estabeleceram-se faixas para classificação do tráfego total e do tráfego total correspondente ao “tráfego pesado”, respectivamente apresentadas na Tabela 4.6 e Tabela 4.7.

Tabela 4.6 – Valoração do Volume médio anual diário

Volume médio diário anual (VMDa)		Valoração
>=0	<=2750	1
>2750	<=5000	2
>5000	<=7000	3
>7000	<=12000	4
	>12000	5

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 4.7 – Valoração da porcentagem de tráfego pesado

Porcentagem de tráfego pesado		Valoração
>=0	<=10%	1
>10%	<=15%	2
>15%	<=20%	3
>20%	<=25%	4
	>25%	5

Fonte: A autora, 2019.

- **Método para definir a Importância da rodovia**

Após aplicar a metodologia definida por meio da “Matriz de Importância das rodovias federais”, obteve-se o “Mapa de classificação da importância das rodovias federais”, apresentado na Figura 4.2. O mapa auxilia na determinação do valor da Importância da rodovia para um passivo localizado em um determinado trecho.

Porém, ainda não há dados suficientes para classificar toda a malha das rodovias federais, pois o PNCT é um programa em desenvolvimento. A Figura 4.3 apresenta, representada na cor verde, todas as rodovias federais com contagem de tráfego no PNCT até o ano de 2017 e, em preto, as rodovias que não apresentam dados. A fim de abranger toda a malha nacional, foi determinada uma superfície de extrapolação (Figura 4.4), a qual define um limite entre duas regiões, por meio de cálculos matemáticos realizados através do inverso da distância.

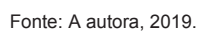
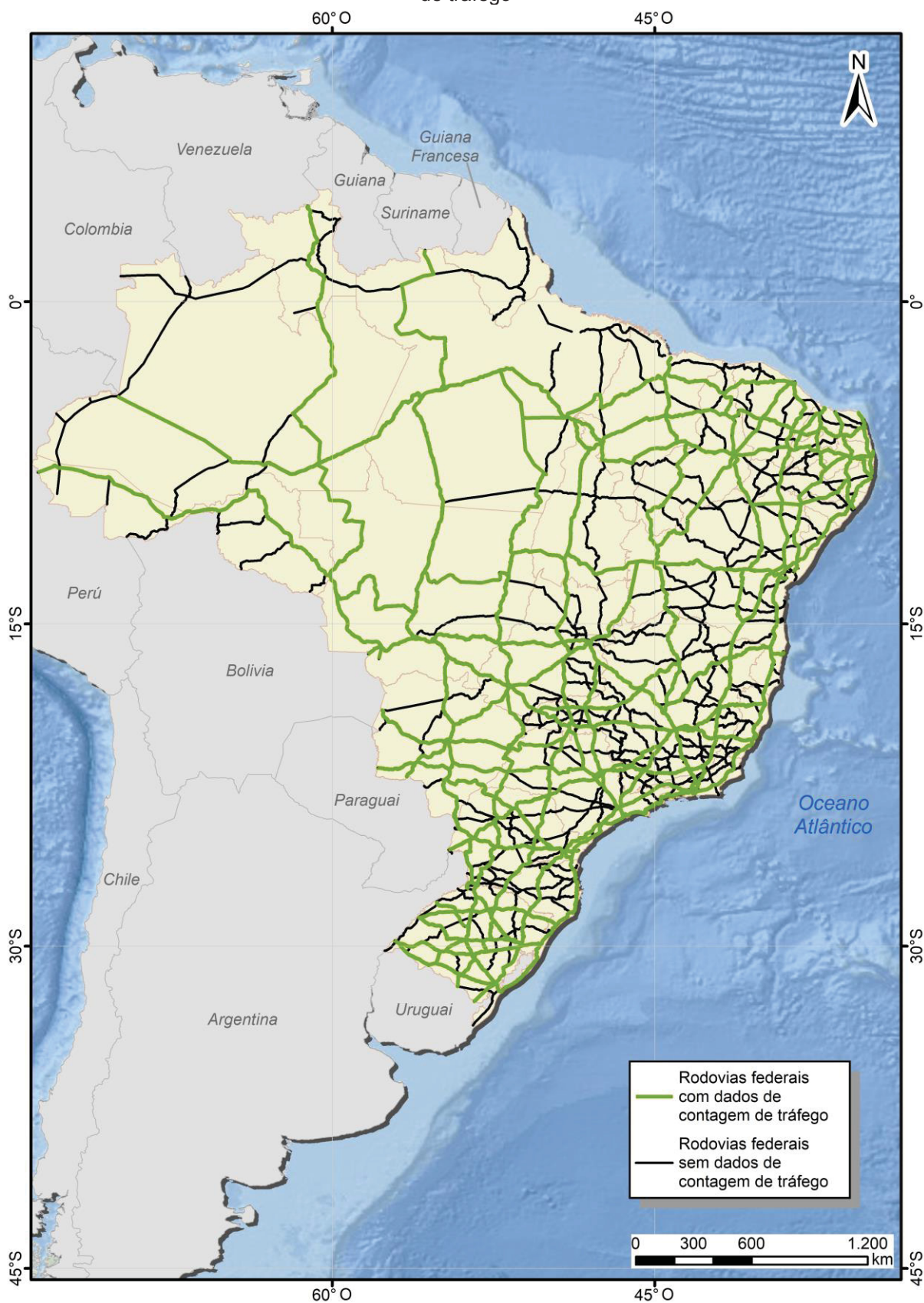
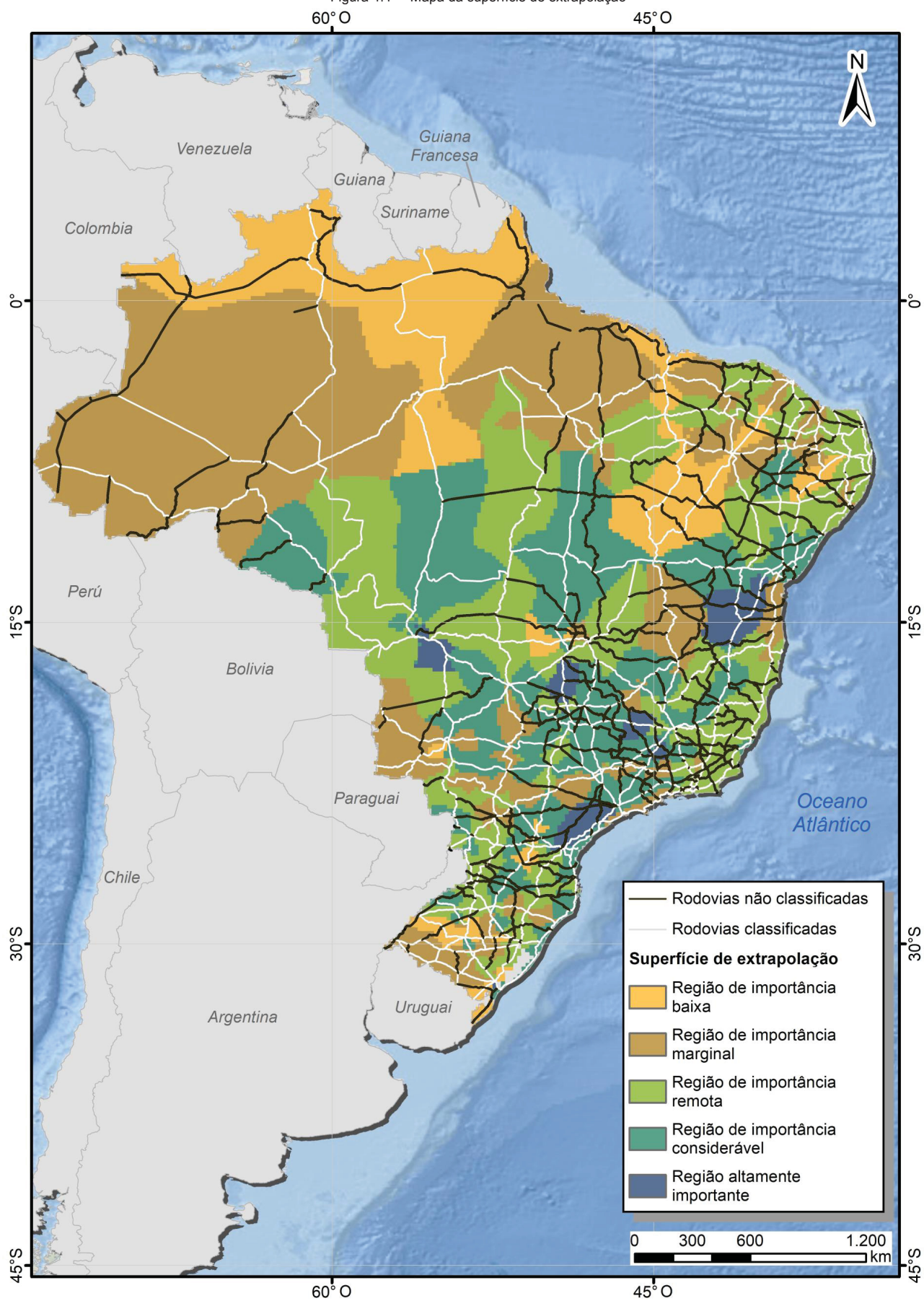


Figura 4.3 – Representação das rodovias federais com informações e sem informações de contagem de tráfego



Fonte: A autora, 2019.

Figura 4.4 – Mapa da superfície de extrapolação



Fonte: A autora, 2019.

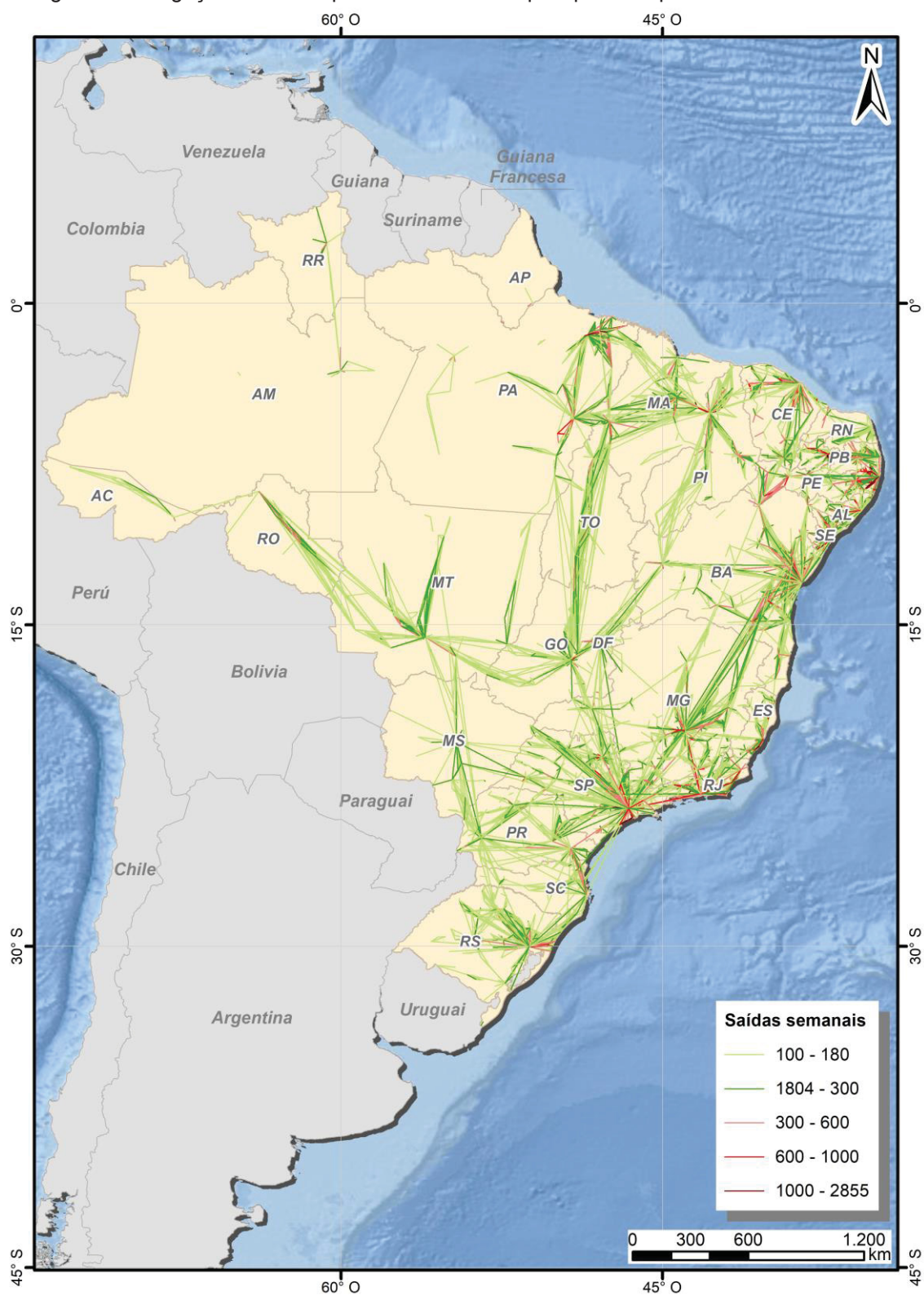
- **Consistência do método**

Com o intuito de verificar os resultados obtidos por meio da “Matriz de Importância das rodovias federais”, foi comparado o Mapa obtido com dados do IBGE de 2018, referente à informação que caracterizam as regiões de maior influência econômica. Assim, foram analisados os dados de frequência das ligações entre municípios (Figura 4.5), obtidos através de pesquisas de origem destino (OD), e disponibilizados no documento “Ligações Rodoviárias e Hidroviárias” publicado pelo IBGE em 2017.

Verifica-se que as regiões caracterizam as conexões rodoviárias com maior frequência de saídas semanais e que essas condizem com regiões que ficaram caracterizadas como de grande importância no “Mapa da caracterização da importância das rodovias federais”. Destaca-se que a região nordeste do Brasil, esperava-se encontrar uma valoração maior. Porém, devido aos valores menores de VMDa obtidos através da contagem de tráfego, a região ficou caracterizada como de importância “Remota”.

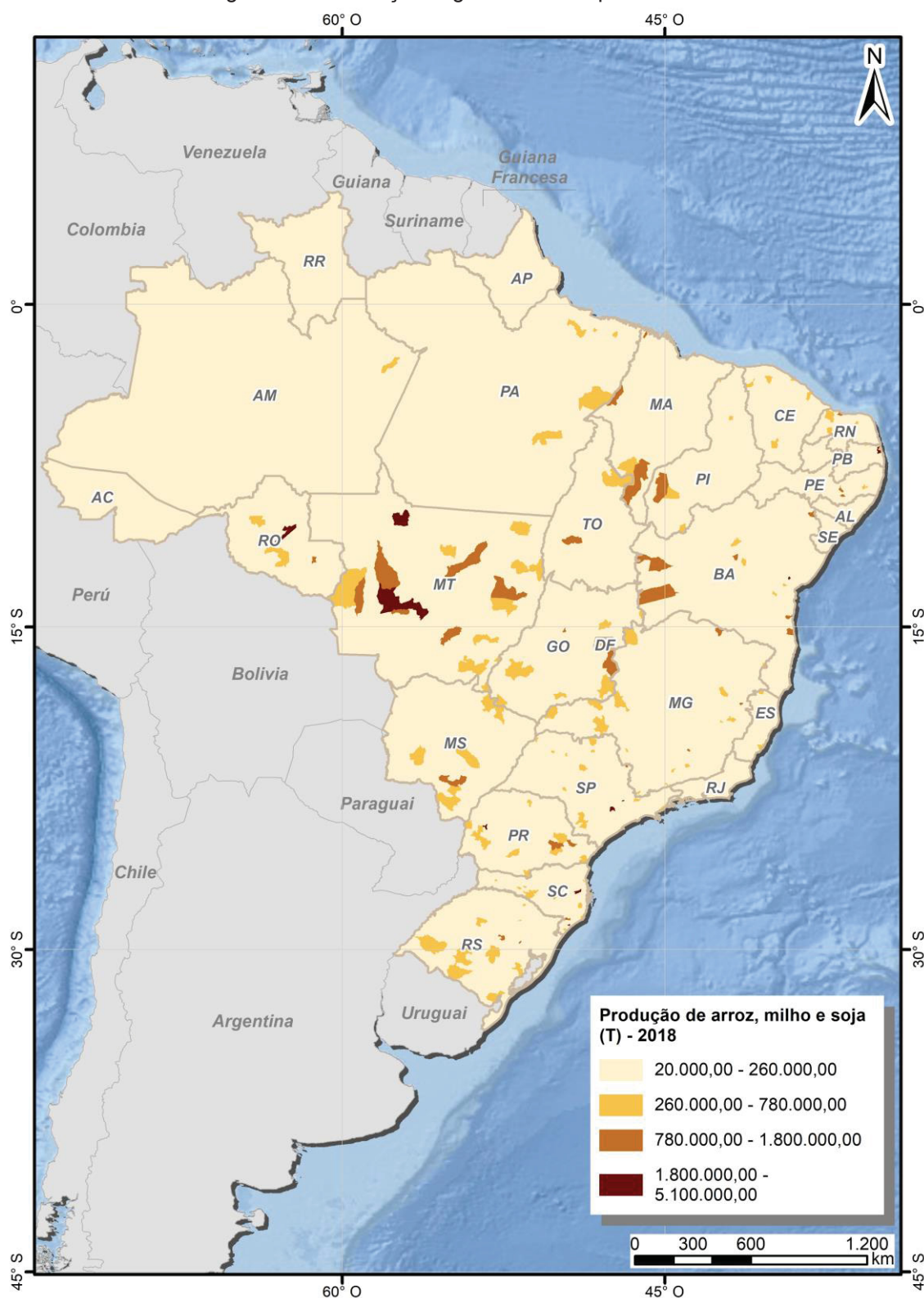
No mesmo raciocínio, entende-se que a consideração da porcentagem de tráfego pesado fez com que a região do centro-oeste brasileiro recebesse uma valoração alta na importância da rodovia. Nesse caso, o mapa pode ser comparado com os dados obtidos pelo IBGE, referentes às regiões em destaque na produção agrícola, observada na Figura 4.6.

Figura 4.5 – Ligações mais frequentes entre municípios por transporte rodoviário em 2016



Fonte: Adaptado de IBGE, 2017.

Figura 4.6 – Produções agrícolas municipais em 2018



Fonte: Adaptado de IBGE, 2019.

Desse modo, fazendo uma análise das regiões, consideradas de maior influência econômica – que interconectam polos regionais, industriais e agrícolas – o

mapa demonstrou-se consistente. Todavia, destaca-se que não foi considerada a existência de rotas alternativas, a qual se julga necessária para, de maneira conjugada ao mapa, determinar a importância do trecho de uma rodovia para um ponto em análise.

4.2.1.3 Grandeza

A Grandeza da ocorrência (G) é o parâmetro que aborda a Abrangência, ou seja, a “proporção” da manifestação e sua Magnitude, isto é, a intensidade do fenômeno. Ressalta-se que o valor para ser ponderado em relação ao parâmetro Grandeza, é obtido pela média entre a abrangência e a magnitude.

- **Abrangência**

A abrangência é adotada em termos de proporção: a área que foi afetada em comparação à proporção que poderia chegar (Quadro 4.5). Isso permite ter uma ideia de evolução do processo, pois, uma ocorrência em fase inicial, de modo geral, inicia numa área mais pontual e vai aumentando progressivamente.

Outra questão que a abrangência retrata é a localização da ocorrência dentro ou fora da faixa de domínio, pois, quando um dano é consequência da interação da rodovia com o meio, se ele se localiza fora da faixa de domínio, recebe peso maior de intervenção, pois pode causar prejuízos a terceiros.

Quadro 4.5 – Valoração da Abrangência

Atributo	Valoração	Descrição
Pontual	1,0	Menor que 20% da área que poderia ser afetada
Mediana	2,0	Maior que 20% e menor que 50% da área que poderia ser afetada
Preponderante	3,0	Maior que 50% e menor que 70% da área que poderia ser afetada
Total	4,0	Maior que 70% da área a ser afetada, mas contida à faixa de domínio
Superior	5,0	Ultrapassa a faixa de domínio

Fonte: A autora, 2019.

- **Magnitude**

A Magnitude também pode ser relacionada com a evolução do passivo, pois a intensidade da ocorrência aumenta e, conseqüentemente a sua relevância, tornando-o mais significativo. A Magnitude pode ser enquadrada de acordo com a classificação do passivo, e a valoração da análise qualitativa pode ser observada por meio do Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Valoração da Magnitude

Magnitude		Processos erosivos	Movimentos de massa	Deslocamentos Verticais
Pequena	1,0	Erosão uniforme ou surgimento de sulcos, necessita de pequenos preenchimentos de material e proteção superficial	Pequenos indícios de movimento (pequenos desmoronamentos, pequenas fraturas, descontinuidades, vegetação inclinada, verificações de instabilidade)	Pequenos deslocamentos, deslocamentos com dificuldade de percepção
Média	3,0	Evolução de sulcos para ravinas, pequenos desmoronamentos	Maciços bem fraturados, indícios de superfície de ruptura, indícios de instabilidade	Deslocamentos perceptíveis que causam problemas e desconforto
Alta	5,0	Ravinas profundas que evoluíram para voçorocas ou voçorocas que surgiram por fenômeno de <i>piping</i>	Início de movimento ou áreas com a superfície de ruptura bem definida	Inoperabilidade

Fonte: A autora, 2019.

4.2.1.4 Interferência no tráfego e Temporalidade

A Interferência é o critério que mensura qual a proporção da obstrução da pista, em relação ao espaço e ao tempo, que um passivo pode causar. Ou seja, quanto tempo demora a recuperar o passivo e qual o impacto que esse ou as obras de recuperação geram em relação ao tráfego. Desse modo o passivo ou as obras de recuperação podem não gerar desconforto algum, podem interromper totalmente o tráfego ou interferi-lo parcialmente (Quadro 4.7).

Quadro 4.7 – Valoração da Interferência

Descrição	Valoração
Não influencia o tráfego ou recuperação rápida interditando uma pista	1,0
Recuperação demorada interditando uma pista	2,0
Recuperação rápida interditando todas as pistas	3,0
Recuperação demorada interditando todas as pistas	5,0

Fonte: A autora, 2019.

4.2.2 ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA

Os resultados apresentados partiram de uma segunda interação do banco de dados. Em primeiro momento, foi considerada a variação entre os parâmetros de cada critério variando em uma escala quantitativa de 1,0 em 1,0 para cada qualificação adotada. Assim, foi observado que, além dos pesos de cada critério, o somatório total do Índice de Prioridade variava também em função da escala adotada nos parâmetros, pois o valor máximo era diferente entre os critérios.

Desse modo, como método final, foi definido que a ponderação quantitativa máxima dentro das escalas qualitativas seria 5 e que a variação entre cada elemento de um parâmetro se daria de acordo com a quantidade de elementos.

Por exemplo, a valoração da magnitude adotada em uma análise preliminar atribuía o valor 1,0 para a magnitude classificada como “pequena”, 2,0 para a classificada como “média” e 3,0 para a “alta”. Já na segunda tentativa, a qual foi apresentada no Quadro 4.6, os valores de magnitude “média” foram valorados em 3,0 e os de “alta” e, 5,0.

Nesse mesmo objetivo, foi analisada a valorização quantitativa dada aos elementos de Possíveis consequência e Perigo (probabilidade). Como, o risco é a parcela que envolve os dois critérios por meio da multiplicação, o conjunto como um todo deveria se aproximar do valor máximo da parcela.

Para definir a parametrização dos atributos da consequência foi definida primeiramente a escala da probabilidade e adequada na sequência a da consequência. Porém, tendo em vista que para um passivo não existe a situação em

que será assinalada todas as consequências definidas, primeiramente, foi necessário olhar os possíveis conjuntos de consequências assinalados na unidade de análise.

Como, a probabilidade máxima, da análise qualitativa “perigo instalado” foi definida em 1,5, o maior somatório de consequências não poderia superar o valor de 3,3. Portanto, a escala inicial adotada foi a disposta no Quadro 4.8, e a final necessitou que fossem adequados os valores.

Quadro 4.8 – Valoração preliminar das consequências

Atributo	Valoração
Degradação da paisagem	0,0
Acúmulo de sedimento sobre a pista	0,5
Assoreamento de sistemas de drenagem	0,5
Desconforto e insegurança dos usuários	0,5
Assoreamento de cursos d'água	1,0
Comprometimento da estrutura do pavimento	1,0
Comprometimento do sistema de drenagem	1,0
Danos a lindeiros	1,0
Interferência em OAE	1,0
Indução a problemas geotécnicos	2,0
Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento	2,0
Acidentes	3,0

Fonte: A autora, 2019.

Por meio da análise estatística através da distribuição da frequência de cada parâmetro de um critério, também foi necessária realizar adequações de escala. Primeiramente, foi definido a escala para a abrangência como apresentado no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Valoração preliminar da abrangência

Atributo	Valoração	Descrição
Pontual	1,0	Menor que 20% da área que poderia ser afetada
Mediana	2,0	Maior que 20% e menor que 70% da área que poderia ser afetada
Total	3,0	Maior que 70% da área a ser afetada, mas contida à faixa de domínio
Superior	4,0	Ultrapassa a faixa de domínio

Fonte: A autora, 2019.

Assim, foi observado que os dados ficaram concentrados na faixa de valor adotada como abrangência “Mediana” (Tabela 4.8). Desse modo, foi determinada

mais uma faixa de análise qualitativa e redistribuídos os valores quantitativos, e a amostra se comportou de acordo com a distribuição da Tabela 4.9, a qual foi considerada satisfatória.

Tabela 4.8 – Distribuição dos resultados na valoração preliminar da abrangência

Abrangência	Valores brutos	Frequência (%)
Pontual	27	14%
Mediana	78	42%
Total	59	32%
Superior	23	12%
	187	100%

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 4.9 – Distribuição dos resultados na valoração final da abrangência

Abrangência	Valores brutos	Frequência (%)
Pontual	26	14%
Mediana	41	22%
Preponderante	37	20%
Total	58	31%
Superior	25	13%
	187	100%

Fonte: A autora, 2019.

No contexto da magnitude, embora os resultados tenham se concentrado na faixa de magnitude “Média” (Tabela 4.10), como as faixas foram determinadas de acordo com as classificações dos passivos ambientais definida preliminarmente nesse estudo, não foi possível aplicar o raciocínio para a redistribuição dos resultados.

Por exemplo, a maioria dos processos erosivos foram observados no estágio evolutivo de ravinas, não existindo outra subdivisão possível para fragmentar a frequência do parâmetro.

Tabela 4.10 – Distribuição dos resultados na valoração final da magnitude

Magnitude	Valores brutos	Frequência (%)
Pequena	49	26%
Média	105	56%
Alta	34	18%
	187	100%

Fonte: A autora, 2019.

4.2.3 SIMULAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO

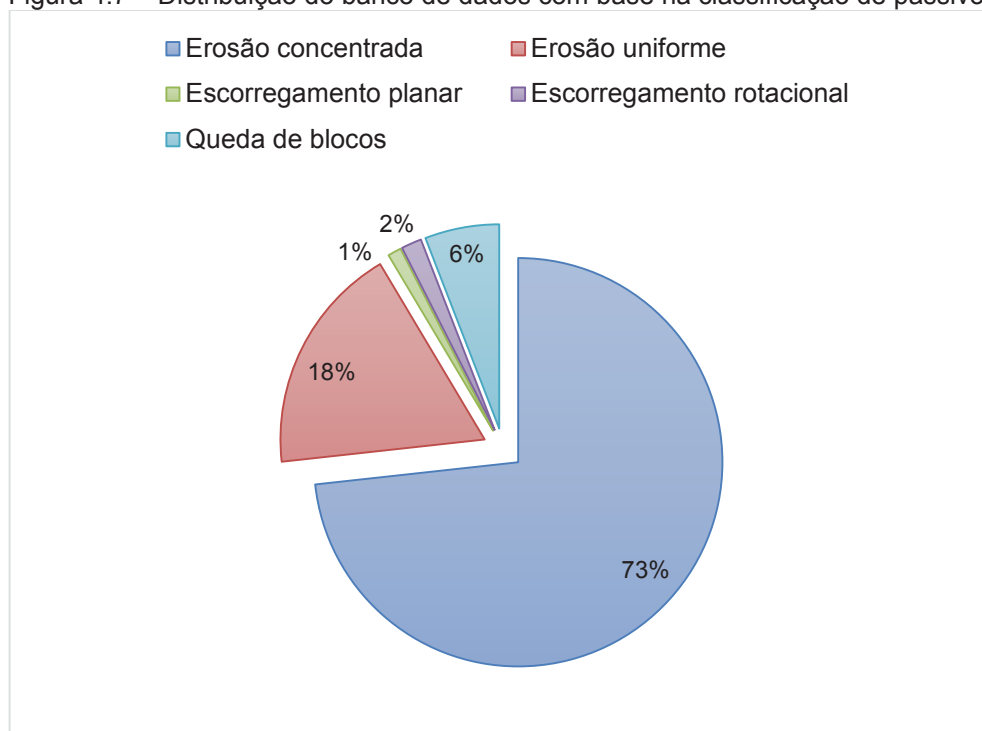
Em resumo das métodos apresentados no presente estudo, ressalta-se que a proposta da priorização de passivos ambientais como ferramenta na gestão é válida quando se tem mais de uma ocorrência a ser recuperada. Portanto, um Índice de Prioridade (IP) tem significância quando é possível compará-los a outros. Assim, em conjunto com o valor do investimento necessário para a recuperação, a comparação do IP e suas abordagens estatísticas auxiliam na gestão de passivos ambientais rodoviários.

4.2.3.1 Cadastro do banco de dados

Aplicando o método de classificação e priorização no banco de dados, obtido por meio do levantamento de passivos ambientais nos trechos não concessionados da BR-116, foi possível validar os conceitos e métodos definidos no presente trabalho. A validação foi aferida confrontando se os resultados estão em concordância com a situação observada em campo.

Cabe ressaltar o banco de dados é constituído por 187 passivos ambientais de natureza física ou material, os quais foram classificados como: Erosão concentrada, Erosão uniforme, Queda de blocos/tombamento, Escorregamento planar, Escorregamento rotacional. A distribuição das feições classificadas pode ser observada no gráfico apresentado na Figura 4.7. Para o banco de dados em questão, não foi cadastrado passivo com feição classificada como Rastejo, Corrida e nenhuma das subclassificações para deslocamentos verticais (Adensamento, Compactação e Desmoronamentos).

Figura 4.7 – Distribuição do banco de dados com base na classificação de passivos



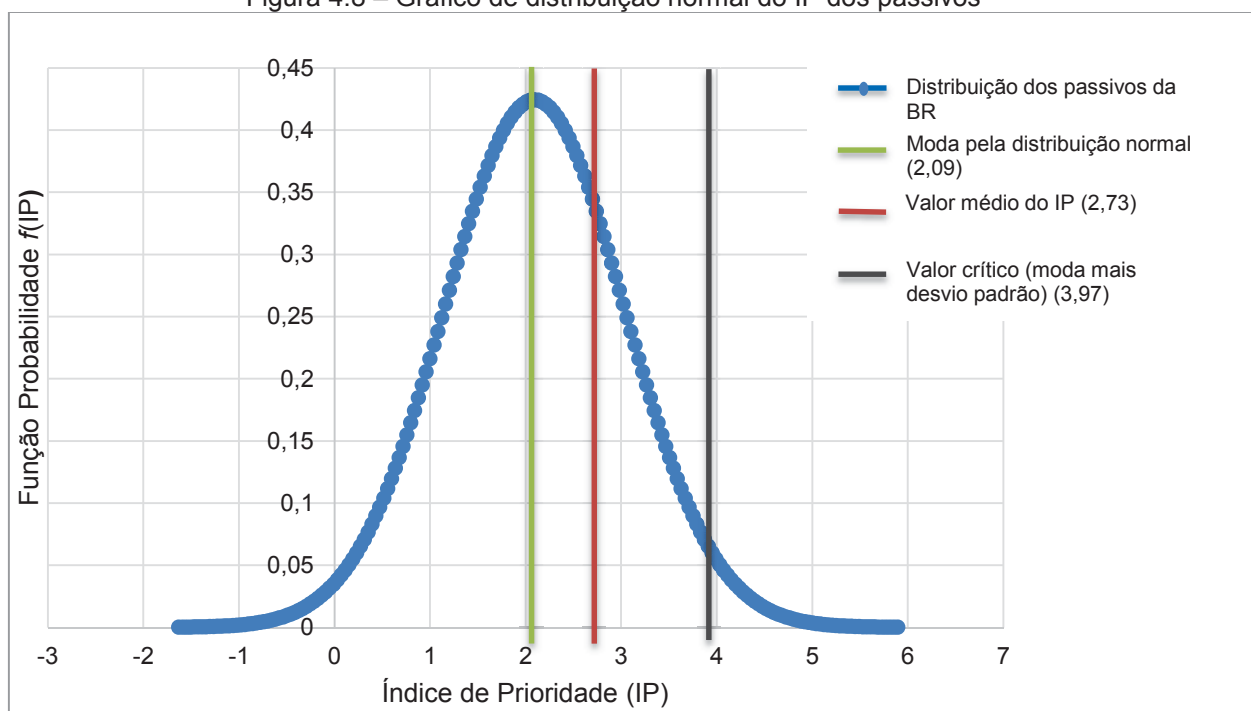
Fonte: A autora, 2019.

4.2.3.2 Metodologia de priorização

Assim, aplicando a metodologia de priorização, com base na equação matemática do Índice de Prioridade (IP), obteve-se um *ranking* de priorização. Os valores de IP foram questionados em análises estatísticas, como a distribuição normal de frequências e o Princípio de Pareto.

O valor do IP, de acordo com os resultados obtidos, variou entre 0,45 e 5,00, tendo como valor médio 2,73. Calculando a média de todos os resultados do Índice de Prioridade do banco de dados, obteve-se o valor de 2,09. Ou seja, a média dos resultados do banco de dados está abaixo do valor médio do Índice de Prioridade. Buscando uma maior representatividade dos resultados de priorização, os valores de IP foram dispostos em uma distribuição normal (Figura 4.8), a fim de serem confrontados com o valor médio do IP.

Figura 4.8 – Gráfico de distribuição normal do IP dos passivos



Fonte: A autora, 2019.

Em uma distribuição normal, o ponto mais alto na curva, representa o valor com a maior moda do processo (distribuição unimodal), ou seja, o valor que mais frequente na base de dados. Assim, verificou-se que os resultados se concentram em um IP de 2,09 (linha verde). Devido ao valor do desvio padrão dos dados (0,94), a curva de distribuição normal transcende para dados maiores que os possíveis resultados de IP, ou seja, a curva engloba valores inferiores a zero e superiores a cinco. Desse modo, faz-se necessário considerar apenas o intervalo entre os valores possíveis de IP.

Através da distribuição é possível observar que o valor da maior moda é menor que o valor médio do IP (2,73). Nesse contexto, verifica-se a correspondência dos valores obtidos com o observado em campo, pois, foi possível perceber que a maior parte dos passivos ambientais levantados são caracterizados por feições em estágio inicial ou intermediário. Essas feições são provocadas muitas vezes por problemas de dimensionamento ou falha/falta/ineficiência do sistema de drenagem, que não se categorizam em um risco acentuado, mas que apresentam um potencial evolutivo ao longo do tempo.

A curva de distribuição mostra que os passivos ambientais com maiores Índice de Prioridade possuem baixa frequência. O fato também está de acordo com o

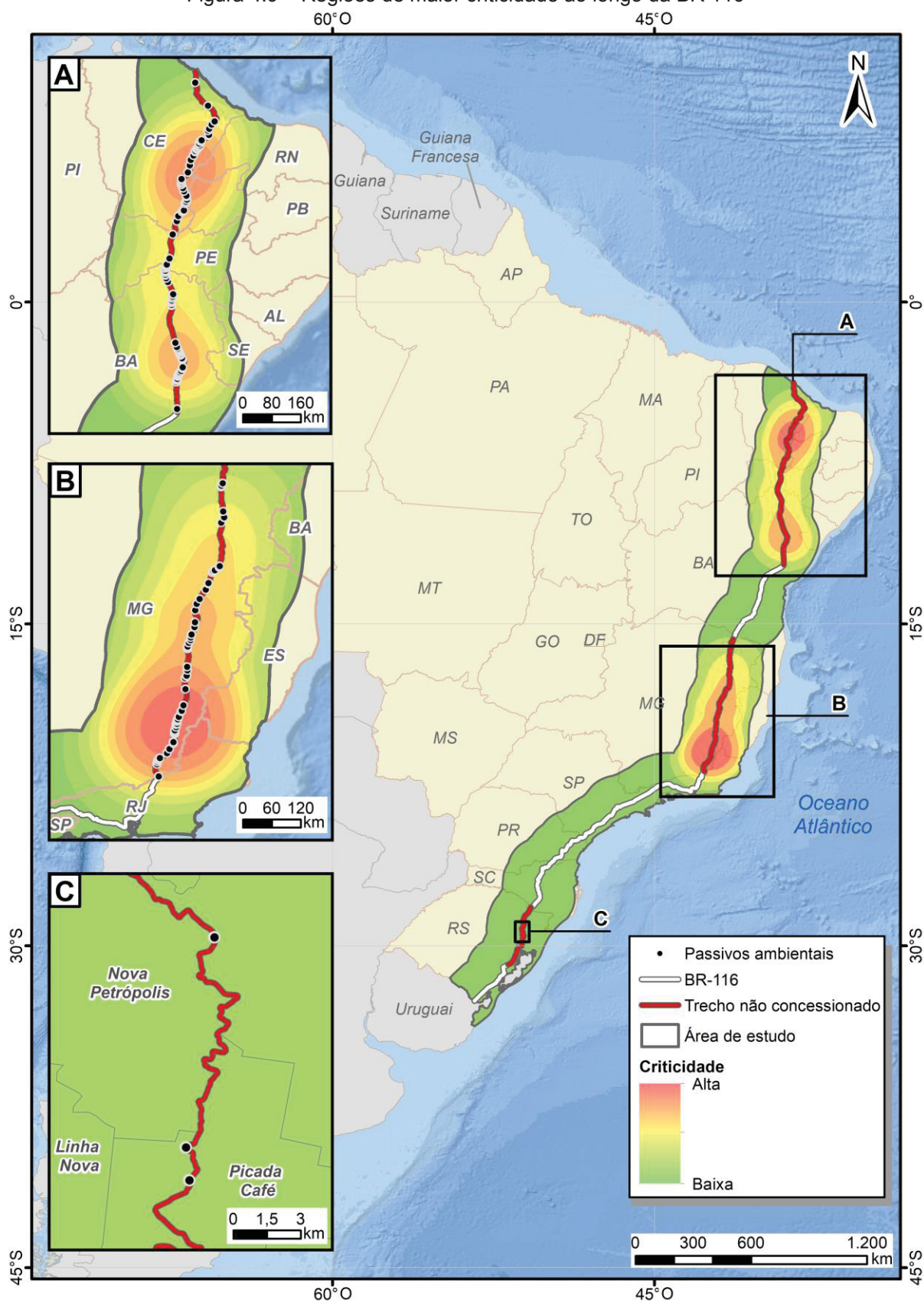
observado em campo, pois, pôde-se aferir casos singulares em que foi diagnosticado uma prioridade de recuperação, por meio da análise visual.

Como a recuperação demanda investimento de recursos e tempo, a gestão de passivos permite que se atue na parcela mais crítica e, posteriormente, seja definida como será realizada a gestão de recuperação dos demais passivos. Afim de definir um valor de referência de criticidade do passivo ambiental, para o caso do banco de dados dos passivos ambientais da BR 116, foi possível aferir resultados satisfatórios utilizando a moda dos valores somada a duas vezes o desvio padrão. Pois, em um modelo normal, aproximadamente 95,5% da área total está localizada entre média \pm 2 desvio padrão. Assim, obteve-se um valor de IP crítico como 3,97, o qual foi representado pela linha preta da Figura 4.8.

Também justifica-se realizar uma análise logística, para tanto, os passivos que apresentaram valores de IP alto devem ser analisados sob uma ótica espacial. Assim, foi possível caracterizar, ao longo da BR 116, regiões de maior criticidade. Tais regiões foram determinadas através de um mapa de calor (Figura 4.9), confeccionado por meio de um *software* de geoprocessamento, sob a premissa de considerar o valor de IP de cada passivo e a densidade (concentração) de passivos ao longo da rodovia.

Com as regiões de maior criticidade, é possível complementar a gestão dos passivos. Pois, passivos sequentes no *ranking* podem estar localizados a uma distância um do outro que, devido a mobilização de equipamentos e mão de obra, não justifica o plano de recuperação seguir a ordem exata da priorização. Desse modo, muitas vezes, é mais vantajoso atuar em uma região e, na sequência, em outra. Portanto, dispõe-se do recurso de criticidade das regiões. Cabe ressaltar que as regiões de criticidade relevantes foram determinadas apenas para os trechos não concessionados (trechos destacados em vermelho na Figura 4.9), devido o levantamento de passivos ter sido realizado apenas nesses trechos.

Figura 4.9 – Regiões de maior criticidade ao longo da BR 116



Fonte: A autora, 2019.

Porém, seguindo na análise apenas do valor de priorização, ressalta-se que os valores de Índice de Prioridade devem ser dispostos em ordem decrescente de modo a formar um “*ranking*” e, a gestão de passivos ambientais é realizada comparando a prioridade em recuperação com o orçamento necessário. Assim, na sequência, apresenta-se uma simulação de priorização de passivos, através de estudo de caso.

Para tanto, os cinco passivos com maior Índice de Priorização no *ranking* de priorização, são apresentados na Tabela 4.11. A sigla dos passivos foi determinada levando em consideração o estado de ocorrência e o número de registro nas planilhas eletrônicas utilizadas como base. Os passivos foram classificados de acordo com as diversas ocorrências geotécnicas, por meio da feição, e são, na sequência: MG 142, MG 194, CE 131, MG 147 e MG 38.

Tabela 4.11 – Simulação de priorização

Passivos	Feição	IP
MG 142	Escorregamento rotacional	4,47
MG 194	Queda de blocos	4,42
CE 131	Escorregamento planar	4,37
MG 147	Erosão concentrada	4,32
MG 38	Erosão concentrada	4,14

Fonte: A autora, 2019.

Dos cinco passivos líderes no *ranking*, foram separados três para realizar uma simulação de cadastramento e orçamentação, sendo eles: MG 142, MG 194 e MG 147. A escolha foi realizada levando como premissa estimar a recuperação para passivos localizados próximos e com a classificação em feições distintas. A estimativa orçamentária é realizada em termos de estimativa, a fim de obter parâmetros comparativos.

4.2.3.3 Estudos de caso

A seguir, é apresentada a caracterização dos passivos com maior nota do IP pelo *ranking* de priorização, englobando os dados necessários para aplicar o modelo de gestão proposto. Apresenta-se também os dados de localização, classificação do passivo (feição), as Possíveis causas, Prováveis consequências, e os critérios necessários para calcular o Índice de Prioridade: Perigo, Abrangência, Magnitude e Interferência no tráfego e Temporalidade.

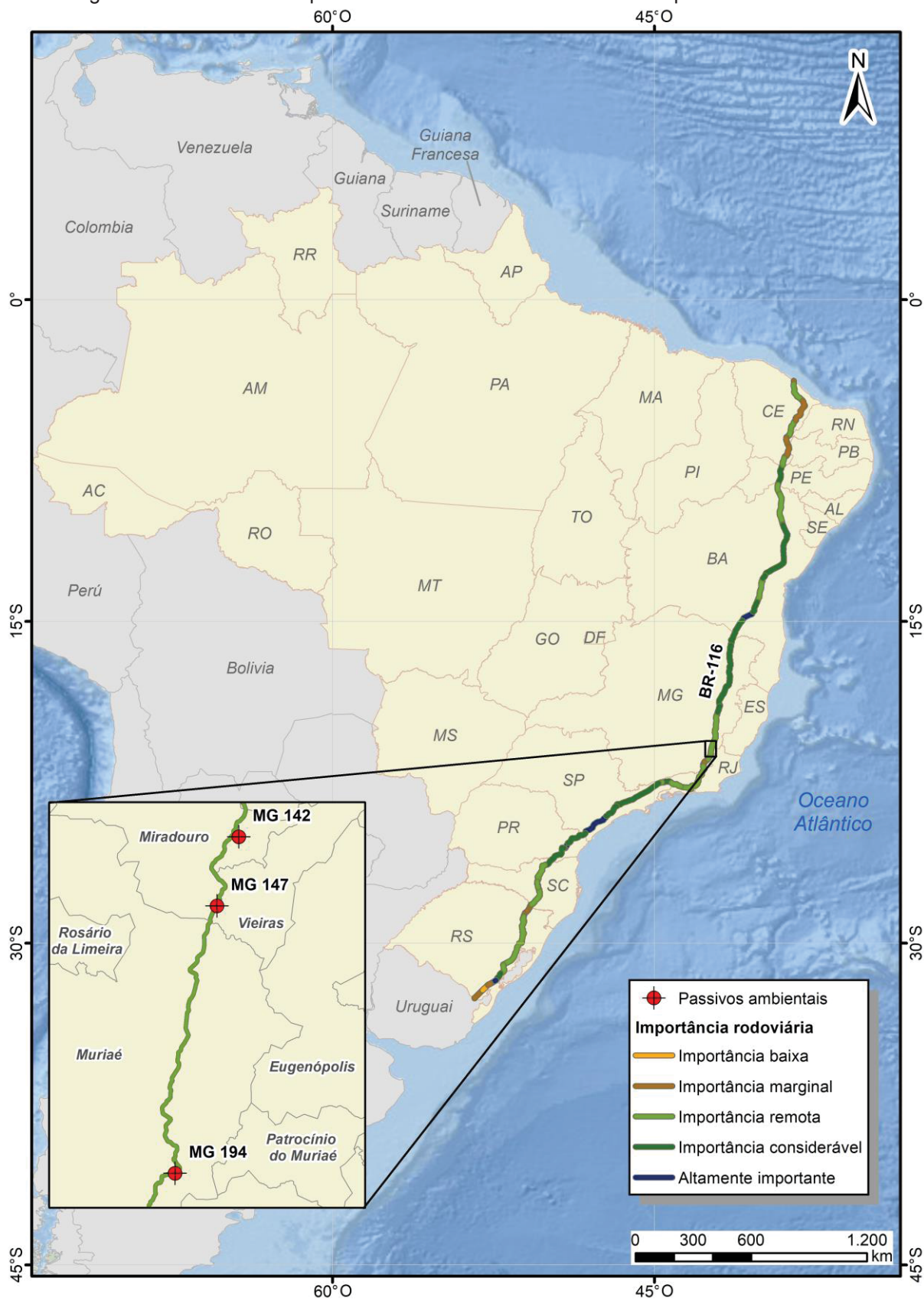
Ressalta-se que determinar as causas da origem de uma feição é fundamental para auxiliar na classificação do passivo identificado e para auxiliar na determinação do melhor método de recuperação, pois, como mencionado anteriormente, as técnicas utilizadas devem atuar diretamente na prevenção ou proteção. Em relação as consequências, a listagem é fundamental para determinar o Risco do passivo.

Além disso, destaca-se que: o Risco do passivo é determinado pelo produto entre a probabilidade (perigo ao usuário) e as possíveis consequências; a média entre a abrangência e magnitude definem a Grandeza; e a Importância da Rodovia pode ser obtida plotando os dados de localização do passivo no mapa proposto na (Figura 4.2), como foi exemplificado através da Figura 4.10.

Relembra-se a seguir, para o cálculo do IP, a formulação matemática proposta:

$$IP = 0,55 * R + 0,25 * Ir + 0,10 * G + 0,10 IT \quad (14)$$

Figura 4.10 – Análise dos passivos estudados de acordo com a importância da rodovia




Fonte: A autora, 2019.

- **Estudo de caso 1:**

Os dados necessários para realizar a simulação do estudo de caso são apresentados no Quadro 4.10. O valor de Importância da rodovia (Ir) foi definido em 3, como pode ser observado no mapa da Figura 4.10.

Quadro 4.10 – Cadastramento do passivo MG 142

Id do passivo:		MG 142	Feição:	Escorregamento rotacional	
BR 116	Minas Gerais	Km : 672,9	Coordenada (decimal):	-20,8757°	-42,3320°
			UTM (23K)	777587.94 m E	7689300.47 m S
					
Possíveis causas:			Prováveis consequências:		
Deficiência na proteção superficial			Degradação da paisagem (0,0)		
Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada			Acúmulo de sedimento sobre a pista (0,2)		
Geometria inadequada do talude			Assoreamento de sistemas de drenagem (0,2)		
Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada			Comprometimento da estrutura do pavimento (0,3)		
			Indução a problemas geotécnicos (0,7)		
			Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento (0,7)		
			Acidentes (1,2)		
Perigo:	Instalado (1,5)		Índice de Prioridade:		
Abrangência:	Superior (5,0)				
Magnitude:	Alta (5,0)				
Interferência:	Recuperação demorada interditando todas as pistas (5,0)		4,47		

Fonte: A autora, 2019.

Em relação a recuperação, foi definido como o método indicado a realização de grampos e superfície em concreto projetado. O método foi escolhido devido a feição do passivo (escorregamento rotacional) e as possíveis causas assinaladas. Ou seja, foi assinalado problemas com a geometria do talude e a ausência de um sistema de drenagem eficiente.

O pré-dimensionamento do grampo foi realizado com base na geometria da cunha de ruptura e em dimensões mínimas sugeridas pela literatura. De acordo com Clouterre (1991) apud Ortigão (1993), é possível considerar o comprimento do grampo como sendo de 50% a 70% da altura do talude e a quantidade de grampos por metro quadrado variando de 1 a 2. Devido a possibilidade de adotar a geometria do talude inclinada em 45° , foi considerado 35% da altura como o comprimento do tirante, com espaçamento de 1,5 metros.

Para executar a superfície em concreto projetado, o custo foi estimado com base na área da superfície, multiplicada por dez centímetros de profundidade. A área foi simplificada e calculada como a largura pela altura do talude.

Em relação aos sistemas de drenagem, para a descida d'água, foi adotado três vezes a altura. A quantidade é simplificada, pois, desconsidera que a estrutura está inclinada sobre a face do talude. A valeta de proteção de corte em um comprimento igual à largura do talude.

Considerando as dimensões do talude:

Altura = 20 metros;

Largura = 360 metros.

A estimativa do custo para recuperação do passivo é apresentada na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Estimativa orçamentária para recuperar o passivo MG 142


Código	Descrição da atividade	Quantidade	Unidade	Custo	Custo Total
5605895	Grampo de aço CA-50 D = 16 mm para solo grampeado com capacidade de 50 kN - fornecimento, perfuração e instalação	33600,00	m	R\$ 45,80	R\$ 1.538.880,00
5605938	Perfuração para tirantes em material de 1ª categoria com diâmetro de até 120 mm	33600,00	m	R\$ 15,06	R\$ 506.016,00
1207715	Concreto projetado fck = 25 MPa via seca aplicado em superfícies inclinadas de 60° a 90°	720,00	m³	R\$ 589,37	R\$ 424.346,40
4413018	Fixação em talude de tela eletrosoldada para lançamento de argamassa ou concreto projetado	7200,00	m²	R\$ 11,84	R\$ 85.212,00
2003405	Descida d'água de aterros em degraus - DAD 01 - areia e brita comerciais	60,00	m	R\$ 109,28	R\$ 6.556,80
2003307	Valeta de proteção de cortes com revestimento de concreto - VPC 03 - areia e brita comerciais	360,00	m	R\$ 97,43	R\$ 35.074,80
2003820	Dreno tipo barbacã - DRB 01 - D = 75 mm em estrutura de contenção de encosta - excluso o tubo de drenagem	5400,00	un	R\$ 13,51	R\$ 72.954,00
					R\$ 2.669.040,00

Fonte: A autora, 2019.

- **Estudo de caso 2:**

Os dados necessários para realizar a simulação do estudo de caso é apresentado no Quadro 4.11. O valor de Importância da rodovia (Ir) foi definido em 3, como pode ser observado no mapa da Figura 4.10.

Quadro 4.11 – Cadastramento do passivo MG 194

Id do passivo:		MG 194		Feição:		Queda de blocos	
BR 116	Minas Gerais	BR 116	Km: 713,87	Coordenada (decimal):	-21,1924°	-42,3709°	
				UTM (23K):	772958.79 m E	7654293.66 m S	
							
Possíveis causas:				Prováveis consequências:			
Descontinuidade do maciço rochoso				Degradação da paisagem (0,0)			
Sistema de proteção ausente ou ineficiente				Acúmulo de sedimento sobre a pista (0,2)			
				Assoreamento de sistemas de drenagem (0,2)			
				Comprometimento da estrutura do pavimento (0,3)			
				Indução a problemas geotécnicos (0,7)			
				Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento (0,7)			
Perigo:		Instalado (1,5)		Acidentes (1,2)		Índice de Prioridade:	
Abrangência:		Total (4,0)					
Magnitude:		Alta (5,0)					
Interferência:		Recuperação demorada interditando todas as pistas (5,0)		4,42			

Fonte: A autora, 2019.

Em relação a recuperação, de acordo com as possíveis causas e com a classificação do passivo, foi definido como o método indicado a proteção de taludes rochosos com telas metálicas. As atividades que envolvem a recuperação são relacionadas com a área de proteção (altura por largura) e o volume a ser retirado, estimado como a área do maciço rochoso multiplicado por cinco metros de profundidade. A estimativa do custo para recuperação do passivo é apresentada na Tabela 4.13.

Considerando as dimensões do maciço rochoso:

Altura = 35 metros;

Largura = 290 metros.

Tabela 4.13 – Estimativa orçamentária para recuperar o passivo MG 194


Código	Descrição da atividade	Quantidade	Unidade	Custo	Custo Total
1513945	Proteção de taludes rochosos com telas metálicas de dupla torção com liga em 95% ZN e 5% AL - malha de 8 x 10 cm - fornecimento e instalação	10150,00	m²	R\$ 49,42	R\$ 501.613,00
5502407	Escavação, carga e transporte de material de 2ª categoria - DMT de 800 a 1.000 m - caminho de serviço pavimentado - com carregadeira e caminhão basculante de 14 m	50750,00	m³	R\$ 9,43	R\$ 478.573,50
				R\$	980.185,50

Fonte: A autora, 2019.

- **Estudo de caso 3:**

Os dados necessários para realizar a simulação do estudo de caso é apresentado no Quadro 4.12. O valor de Importância da rodovia (Ir) foi valorado em 3, como pode ser observado no mapa da Figura 4.10.

Quadro 4.12 – Cadastramento do passivo MG 147

Id do passivo:		MG 147	Feição:	Erosão concentrada	
BR 116	Minas Gerais	Km: 681,8	Coordenada (decimal): UTM (23K):	-20,9427° 776224.70 m E	-42,3439° 7681904.25 m S
					
Possíveis causas: Deficiência na proteção superficial Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada Geometria inadequada do talude Infraestruturas de drenagem superficial inexistente ou inadequada			Prováveis consequências: Degradação da paisagem (0,0) Acúmulo de sedimento sobre a pista (0,2) Assoreamento de sistemas de drenagem (0,2) Comprometimento da estrutura do pavimento (0,3) Indução a problemas geotécnicos (0,7) Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento (0,7) Acidentes (1,2)		
Perigo:	Instalado (1,5)		Índice de Prioridade:		
Abrangência:	Mediana (2,0)				
Magnitude:	Alta (5,0)		4,32		
Interferência:	Recuperação demorada interditando todas as pistas (5,0)				

Fonte: A autora, 2019.

Em relação a recuperação, de acordo com as possíveis causas e com a classificação do passivo, foi definido como o método indicado o retaludamento, com a execução de banquetas. Também foi considerado uma proteção superficial com hidrossemeadura e estruturas complementares de drenagem.

Para realizar o retaludamento, foi considerada escavação e compactação do material excedente em bota-fora, com o custo estimado em volume, através da altura, largura e a profundidade (admitida igual à metade da altura). A hidrossemeadura levou como base a área superficial (altura por largura). Em relação aos sistemas de drenagem, para a descida d'água foi adotado três vezes a altura, assumindo que a estrutura está inclinada sobre a face do talude e a valeta de proteção de corte em um comprimento igual a cinco vezes a largura do talude, devido a execução das banquetas.

Considerando as dimensões do talude:

Altura = 30 metros;

Largura = 260 metros.

A estimativa do custo para recuperação do passivo é apresentada na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Estimativa orçamentária para recuperar o passivo MG 147

Código	Descrição da atividade	Quantidade	Unidade	Custo	Custo Total
4413929	Escavação mecânica com trator de esteira de 228 kW em material de 1ª categoria - DMT de até 100 m	117000,00	m³	R\$ 2,81	R\$ 328.770,00
5502978	Compactação de aterros a 100% do Proctor normal	117000,00	m³	R\$ 3,09	R\$ 361.530,00
Proteção superficial					
4413905	Hidrossemeadura	7800,00	m²	R\$ 3,04	R\$ 23.712,00
Estruturas complementares					
2003307	Valeta de proteção de cortes com revestimento de concreto - VPC 03 - areia e brita comerciais	260,00	m	R\$ 97,43	R\$ 126.659,00
4816145	Confecção de canaleta meia cana D = 0,30 m - areia e brita comerciais	1040,00	m	R\$ 17,17	R\$ 17.856,80
2003405	Descida d'água de aterros em degraus - DAD 01 - areia e brita comerciais	90,00	m	R\$ 109,28	R\$ 9.835,20
					R\$ 850.506,20

Fonte: A autora, 2019.

4.2.3.4 Discussões das ferramentas de gestão

Analizando os valores de IP e custo de recuperação de forma integrada (Tabela 4.15), é possível realizar discussões no contexto de gestão de passivos ambientais. Enquanto o desvio padrão de todo o banco de dados foi 0,94, o desvio padrão dos três passivos escolhidos para o estudo de caso foi 0,08. Ou seja, não há diferença significativa no valor de Índice de Prioridade. Porém, ao comparar o custo de recuperação, estima-se que o investimento para recuperar o passivo MG 142 é mais que o dobro do necessário para recuperar o passivo MG 194 ou para recuperar o passivo MG 147, como pode ser observado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Simulação de gestão de passivos ambientais

Passivos	Feição	IP	Custo recuperação
MG 142	Escorregamento rotacional	4,47	R\$ 2.669.040,00
MG 194	Queda de blocos	4,42	R\$ 980.220,50
MG 147	Erosão concentrada	4,32	R\$ 850.506,20

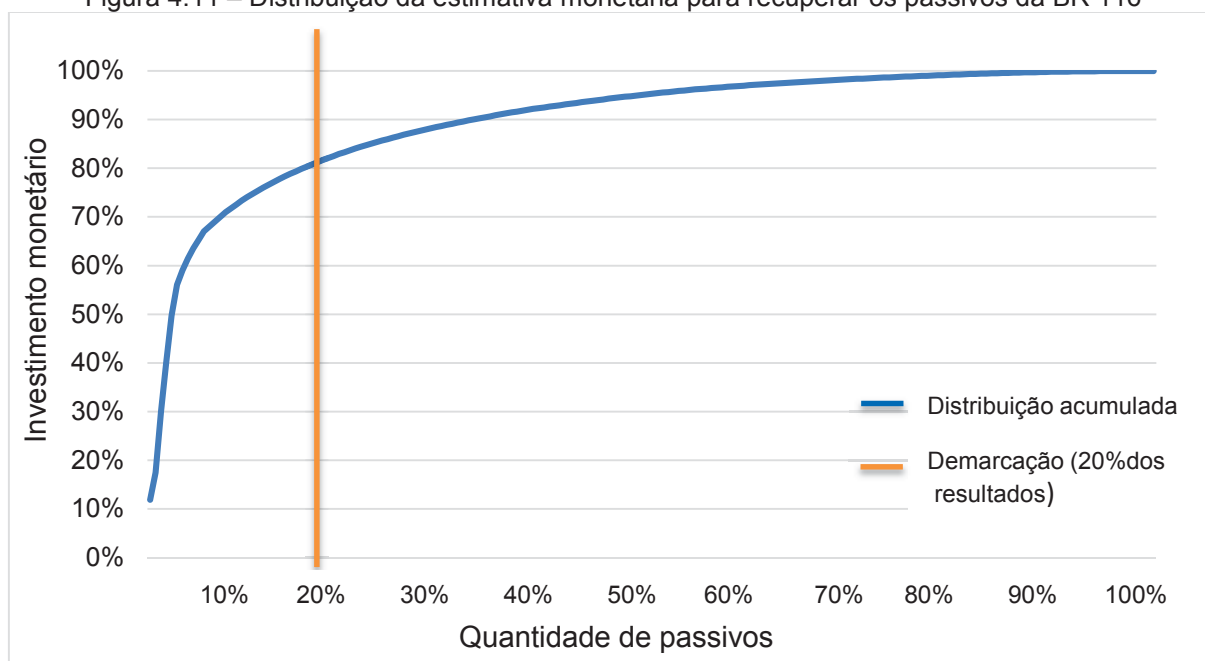
Fonte: A autora, 2019.

Realizando uma análise global do banco de dados, desconsiderando custos com transporte e BDI, foi estimado o investimento necessário em R\$ 24.000.000,00. Majorando em 15% o valor com o intuito de considerar o transporte dos materiais e em 25% para considerar o BDI. Assim, para recuperar todos os passivos cadastrados ao longo da BR 116, obteve-se um valor total de aproximadamente R\$ 34.500.000,00.

Considerando o universo dos passivos com IP superior a 3,97 – IP determinado como crítico para o banco de dados da BR 116 – o investimento necessário é de quase 45% do valor do investimento total. Sendo que 4% dos passivos foram ranqueados com IP superior a 3,97. O fato se justifica pois, como foi supracitado, a maior parte dos passivos levantados são caracterizados por feições em estágio inicial ou intermediário, provocados muitas vezes por problemas de dimensionamento ou falha/falta/ineficiência do sistema de drenagem, portanto, que não demandam obras onerosas de engenharia.

Cabe ressaltar que a distribuição da estimativa orçamentária se assemelha ao Princípio de Pareto, pois 20% dos passivos correspondem a 83% do valor total de investimento (Figura 4.11).

Figura 4.11 – Distribuição da estimativa monetária para recuperar os passivos da BR 116

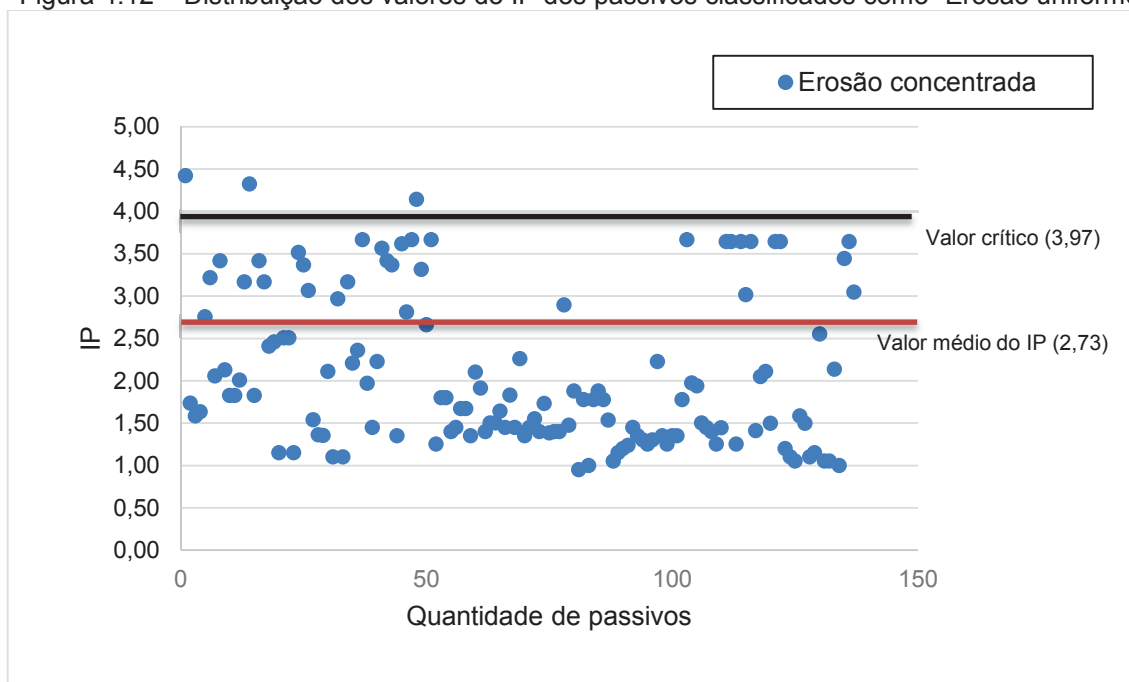


Fonte: A autora, 2019.

No contexto da unidade de análise em questão, a distribuição é consequência de existirem uma pequena parcela de passivos que demandam obras mais complexas de engenharia, os demais, obras mais simples envolvendo drenagem e proteção superficial. Os passivos que demandam obras mais complexas, em maioria, foram classificados, a partir do método de classificação proposta no presente estudo, como movimentos de massa (escorregamentos e queda de blocos) e alguns como erosão concentrada.

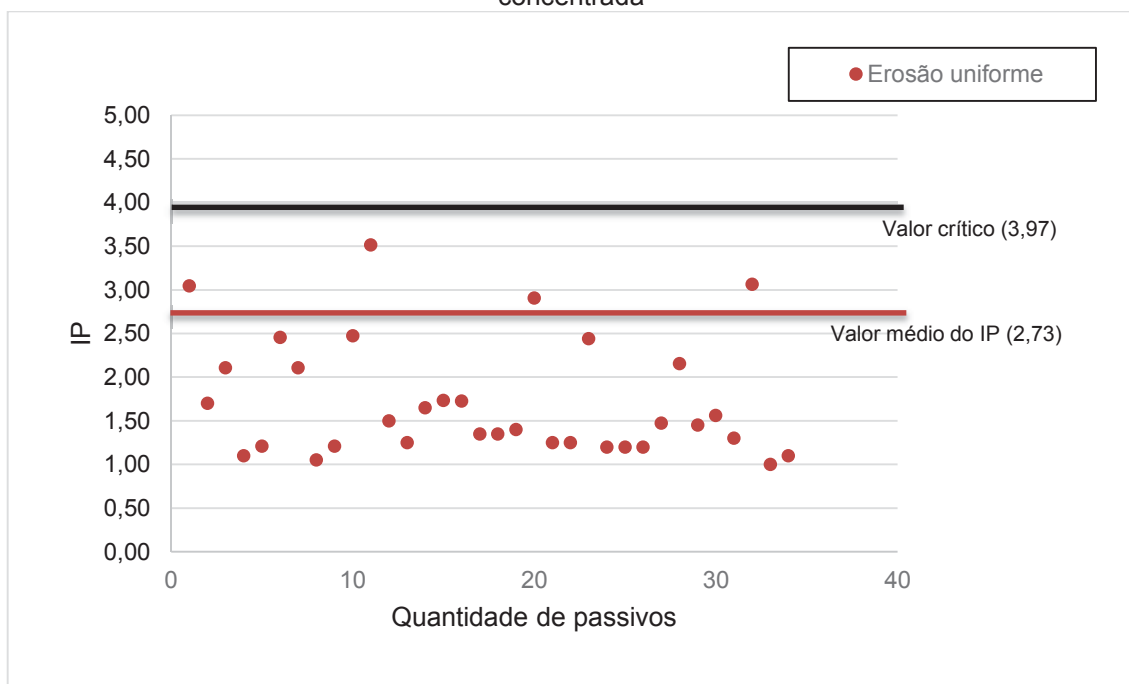
Plotando os passivos classificados como “Erosão uniforme” (Figura 4.12), “Erosão concentrada” (Figura 4.13) e como “Queda de blocos”, “Escorregamento rotacional”, “Escorregamento planar” (Figura 4.14), em função do Índice de Prioridade, foi possível constatar: os passivos classificados como Movimentos de massa (Escorregamentos e Quedas de blocos) foram os que apresentaram maior IP, chegando a casos acima do valor médio do IP e acima do IP crítico; os passivos classificados como “Erosão uniforme” ficaram abaixo do IP crítico e a maioria abaixo do valor médio do IP; em relação aos passivos classificados como “Erosão concentrada”, há casos de passivos valorados acima do IP crítico e há uma grande quantidade de passivos valorados na faixa do valor médio do IP e do valor do IP crítico.

Figura 4.12 – Distribuição dos valores do IP dos passivos classificados como “Erosão uniforme”



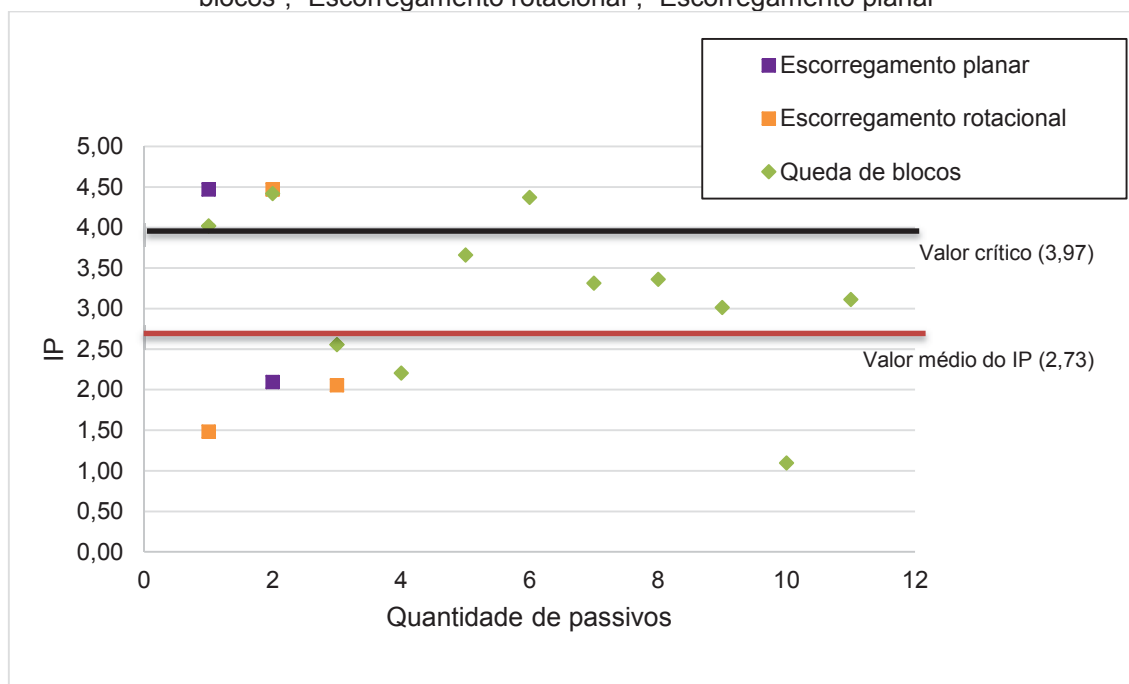
Fonte: A autora, 2019.

Figura 4.13 – Distribuição dos valores do IP dos passivos classificados como “Erosão concentrada”



Fonte: A autora, 2019.

Figura 4.14 – Distribuição dos valores do IP dos passivos classificados como “Queda de blocos”, “Escorregamento rotacional”, “Escorregamento planar”



Fonte: A autora, 2019.

Cabe ressaltar que o IP não é consequência direta da classificação de passivos. Desse modo, é possível aferir que os passivos classificados com feições relacionadas a problemas de estabilidade (Movimentos de massa), possuem uma relação indireta com a priorização. A relação indireta é resultado da consideração das possíveis consequências na parcela de análise do “Risco”. Porém, de forma geral, os problemas com estabilidade de maciços podem gerar consequências muito similares entre si, como nos estudos de caso apresentados, bem como os relacionados a processos erosivos. Porém, foi possível obter valores diferentes para a priorização, pois o Índice de Prioridade possui outros parâmetros ponderados em sua formulação.

Assim, os resultados obtidos comportam-se como boas diretrizes iniciais para discutir problemas de gestão no âmbito da engenharia geotécnica. Todavia, se que outros fatores não ponderáveis devem ser discutidos, como, por exemplo, fatores logísticos – distância entre passivos a serem recuperados, rotas alternativas caso ocorra interferência nas duas faixas da rodovia – e fatores políticos.

4.2.3.5 Simulação de planos de recuperação

A seguir, são apresentados três exemplos que demonstram como o modelo de gestão proposto pode auxiliar na elaboração de planos de recuperação de passivos ambientais rodoviários:

- **Plano de recuperação 1 – IP crítico + *ranking* de priorização**

O plano de recuperação, conforme as necessidades do gestor, pode ser realizado com base, primeiramente, na diretriz do IP crítico calculado (3,97). Para o caso dos passivos da BR 116, conforme foi supracitado, esses correspondem a 4% da unidade da análise, ou seja, 8 passivos. O custo para recuperação dos passivos, considerando o transporte e BDI, corresponde a R\$ 15.570.300,00. Os demais 179 passivos, devem seguir a priorização determinada pelo *ranking de priorização*. O *ranking* de priorização pode ser observado no **Apêndice 2**.

- **Plano de recuperação 2 – Estimativa orçamentária + *ranking* de priorização**

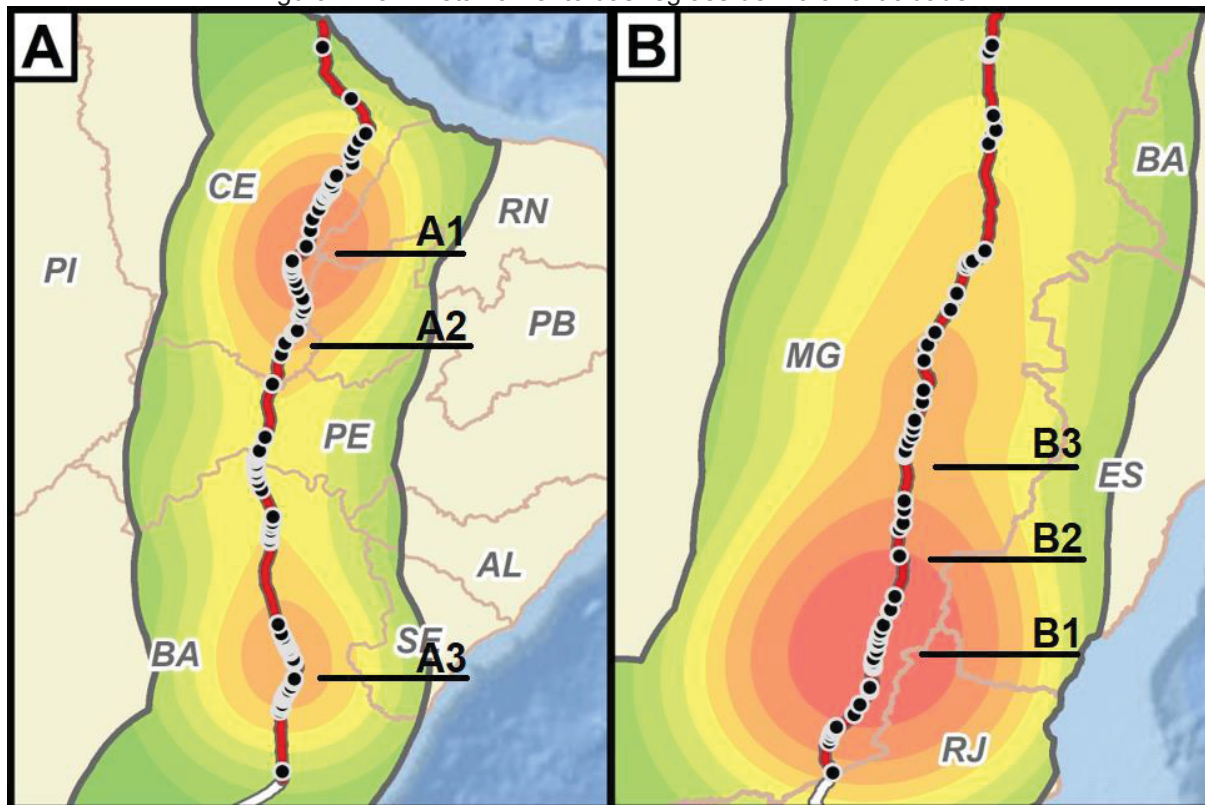
O plano de recuperação, conforme as necessidades do gestor, pode ser realizado com base, primeiramente, na diretriz do orçamento disponível. Em uma situação hipotética em que se utiliza como premissa um orçamento disponível de R\$ 20.000.000,00, considerando o transporte e BDI, o plano de recuperação atuaria nos primeiros 27 passivos do *ranking* de priorização. Os demais seriam recuperados mediante as próximas disponibilizações orçamentárias.

- **Plano de recuperação 3 – Regiões críticas**

O plano de recuperação, conforme as necessidades do Órgão responsável pela rodovia, pode ser realizado com base, primeiramente, nas regiões críticas definidas. As regiões foram apresentadas no mapa da Figura 4.9 e nomeadas e detalhadas na Figura 4.15, conforme a escala de nove faixas de valores. A recuperação pode ser realizada concomitantemente por região, levando em consideração que cada superintendência possui sua própria autonomia, ou de forma integrada, considerando

cada região por vez. A seguir, é apresentado o exemplo de recuperação das regiões de forma integrada.

Figura 4.15 – Detalhamento das regiões de maior criticidade



Fonte: A autora, 2019

Região B (Minas Gerais):

Primeiramente, o plano de recuperação inicia-se pela região B1, na qual seriam recuperados 26 passivos ao total e 4 passivos acima do IP crítico. Os passivos da região B1, considerando o custo com transporte e BDI, correspondem a aproximadamente R\$ 13.900.000,00.

Na sequência, seriam recuperados mais 11 passivos, caracterizando a região B2, sendo que dois deles possuem valor de IP acima do IP crítico. O valor estimado para a recuperação, considerando o custo com transporte e BDI, correspondem a aproximadamente R\$ 5.100.000,00.

Por último, seria recuperado a região B3, englobando 15 passivos ambientais, sendo que um deles possui valor acima do IP crítico. A estimativa de custo para

recuperá-los, considerando a majoração de transporte e BDI, é de aproximadamente R\$ 3.600.000,00.

Região A (Nordeste):

Na sequência, o plano de recuperação contemplaria os 25 passivos da região A1, que correspondem a um investimento de R\$ 727.000,00, considerando a majoração de transporte e BDI. E em seguida, seriam recuperados os 27 passivos da região A2, sendo que um deles possui IP acima do IP crítico. O investimento estimado necessário para recuperar a região A2, considerando a majoração de transporte e BDI é de aproximadamente R\$ 4.035.000,00.

A próxima região a ser recuperada seria a A3, a qual contempla 43 passivos ambientais. Estima-se ser necessário, considerando aos custos com transporte e BDI, um investimento de R\$ 877.000,00.

Os demais passivos seriam recuperados após serem concluídas as recuperações nas regiões críticas.

4.3 FICHA DE REGISTRO

Com o intuito de auxiliar o registro dados necessários para aplicar o método de classificação e o método de priorização propostas no presente estudo, foi realizada adaptações na ficha de levantamento de Ficha de Levantamento de Passivos Ambientais para Rodovias em Operação - FILPAR, proposta por Blasi (2014), e que pode ser consultada na Figura 3.6.

A ficha adaptada pode ser consultada no **Apêndice 3**. A ficha envolve outros conceitos que não foram abordados ao longo da pesquisa, como, por exemplo, definições sobre a caracterização do segmento rodoviário, localização do passivo e conceitos sobre os passivos de natureza moral, social e/ou jurídica. Tais conceitos podem ser consultados no estudo realizado por Blasi (2014).

5 CONCLUSÕES

Os passivos ambientais são uma realidade das rodovias federais e são reflexos da construção anterior à legislação ambiental e também consequência de anos de deficiência de fiscalização quanto ao estado de manutenção e conservação. Devido ao fato de apresentarem risco ao usuário, risco ao patrimônio e/ou risco ao ambiente, necessitam serem recuperados. Assim, o intuito do trabalho em questão foi propor um modelo de gestão de passivos que auxiliasse em planos de recuperação e adequação da malha rodoviária nacional às normas ambientais vigentes.

Apresenta-se as conclusões dessa pesquisa, em relação ao método de classificação, método de priorização e modelo de gestão:

5.1 MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO

Primeiramente, foi necessário determinar um método de classificações de passivos ambientais rodoviários. Visto que os métodos de classificação de passivos ambientais encontrados na literatura misturam diferentes critérios de definição. Além do mais, aplicando tais métodos, não foram obtidos bons resultados sobre a expectativa de auxiliar a definição do melhor método de recuperação e estabelecer diretrizes para priorização na intervenção.

Assim, foi definido um método de classificação de passivos ambientais rodoviários, físicos e/ou materiais, com base no fenômeno associado. Pois, o presente estudo mostrou que o fenômeno associado está vinculado a diversas causas e pode ser responsável por gerar diversas consequências. Nesse contexto, a determinação das possíveis causas foi fundamental para auxiliar na estimativa de recuperação, realizada para se obter o estudo de caso. Além disso, as prováveis consequências foi correlacionada de forma direta na análise do Risco.

5.2 MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO

De forma análoga, os modelos de priorização de passivos encontrados na literatura também apresentam cálculos e ponderações baseados em critérios distintos,

misturando conceitos. Além disso, muitos não foram aplicados em banco de dados, desse modo, quando aplicados aos passivos da BR 116, não apresentaram um resultado satisfatório. Aplicando o método de priorização proposto no banco de dados, foi possível obter uma análise de sensibilidade e reposta, e, desse modo, foi verificada a correspondência da equação de prioridade em relação ao observado em campo.

No que diz a equação de priorização:

A análise do **Risco** é a que foi ponderada com maior valor, pois, ela determina a gravidade do passivo, com base nas consequências que ele pode gerar e na probabilidade de ocorrência. Porém, a probabilidade foi abordada sobre uma perspectiva distinta das demais análises de risco presentes em análises ambientais integradas, em razão de os passivos já estarem instalados. Portanto, a probabilidade é abordada em função do perigo que o passivo proporciona.

Em seguida, o critério que recebeu maior peso dentro da equação do Índice de Prioridade foi a **Importância da rodovia**, pois essa está relacionada indiretamente com a probabilidade de atingir mais pessoas, devido ao fato de essa estar diretamente ligada com o tráfego. Além disso, interditando uma rodovia classificada como de maior importância, há perdas econômicas que devem ser consideradas.

Entretanto, a Importância da rodovia não considera questões de rotas alternativas ao escoamento e também não considera questões políticas (decisões governamentais em relação ao investimento público), sendo essa uma limitação. Outra limitação é que, para definir a Importância da rodovia, foi utilizada uma densidade de contagem desproporcional ao longo dos trechos das rodovias. Ou seja, alguns trechos possuem mais pontos de contagem por quilômetro do que outros. Todavia, o PNCT é um programa que vem sendo investido no país, desse modo, a tendência é que aumente rapidamente a quantidade de dados no Sistema do DNIT.

No que se refere a **Grandeza**, a magnitude auxilia a abordagem da evolução do passivo, pois, se a Magnitude é alta, a feição passivo evoluiu bastante, e se é baixa, a feição do passivo não evoluiu muito, mas pode possuir condições para evoluir. Uma abordagem semelhante pode ser realizada no contexto da Abrangência. Portanto, a Grandeza é um critério que auxilia na determinação da tendência a evolução.

Porém, a tendência à evolução também é consequência das características da região. Por exemplo, um passivo que se caracteriza como erosão, possui maior

tendência de evolução em uma região com alta suscetibilidade aos processos erosivos. Portanto, em trabalhos futuros, recomenda-se que seja incorporada a análise de suscetibilidade às ocorrências geotécnicas, como movimento de massa, subsidências e processos erosivos.

Em relação a **Interferência no tráfego e Temporalidade**, a sua importância segue as premissas de que um passivo que se encontra mais distante da pista de rolamento da rodovia, apresenta menos risco ao usuário. Também causaria uma menor interferência no fluxo das pistas de rolamento, bem como, há uma propensão menor de gerar danos materiais ao patrimônio público, que é a rodovia. Além disso, a interferência nas pistas de rolamento também deve ser analisada sob uma ótica temporal, dado o tempo de recuperação do passivo.

Em consequência da subjetividade existente nos modelos de priorização encontrados na literatura, e, levando em consideração os diferentes critérios abordados na equação de priorização e o bom resultado obtido quando aplicado o método de priorização no banco de dados, conclui-se que o IP é uma boa ferramenta para auxiliar a destinação dos recursos, no contexto de regularização ambiental das rodovias nacionais, em termos de recuperação de passivos ambientais.

5.3 MODELO DE GESTÃO

Para aplicar o modelo de gestão proposto, assim como foi realizado no presente trabalho, recomenda-se que sejam executadas as seguintes atividades:

- Classificação da feição dos passivos e determinação das possíveis causas e prováveis consequências;
- Caracterização do passivo (determinação dos critérios: R, G, Ir e IT) e cálculo do Índice de Prioridade (IP);
- Elaboração do *ranking* de priorização com base no IP de cada passivo;
- Definição da distribuição normal dos resultados e determinar a moda dos valores de IP e o IP crítico;
- Determinação das regiões críticas para recuperação, afim de auxiliar em questões logísticas;

- Definição do plano de recuperação de passivos ambientais rodoviários, englobando os critérios de priorização e logística.
- **Análise do modelo desenvolvido:**

Os passivos caracterizados como movimento de massa, muitas vezes, podem ser valorados com IP muito próximos, principalmente, devido ao fato de poderem gerar as consequências iguais e estarem localizados muito próximos. Todavia, devido a sua feição, obtida por meio da classificação de passivos, as Possíveis causas relacionadas e a Abrangência, eles podem demandar métodos de reparo diferentes, ocasionando em custos de recuperação distintos.

Buscando a otimização de tempo e recursos, uma análise que se demonstrou relevante é a da região de maior criticidade, apresentada no mapa da Figura 4.9. O recurso permite se seja considerada uma análise logística, em que, a mobilização de pessoas e equipamentos para recuperar um passivo pode vir a ser utilizada para recuperar um outro passivo próximo.

O método proposto mostrou que, a unidade de análise foi caracterizada por um IP (moda pela distribuição normal – 2,09) menor que o valor médio do IP (2,73) e, além disso, poucos passivos apresentaram IP acima do IP crítico definido, ou seja, poucos priorização atípica. Desse modo, os planos de recuperação devem atuar primeiramente nos passivos mais críticos. Todavia, também é necessário realizar a recuperação dos demais passivos, pois, eles podem evoluir ao longo do tempo ou podem estar proporcionando perigo ao ambiente e/ou ao patrimônio.

Assim, conclui-se que, o modelo de gestão de passivos ambientais rodoviários proposto é versátil e pode ser utilizado de diversas maneiras na elaboração de planos de recuperação, assim como foi exemplificado no item “4.2.3.5 Simulação de planos de recuperação”. Além disso, o modelo utiliza atributos mensuráveis, como os critérios propostos na pesquisa em questão, para fundamentar as decisões de gestão adotadas.

5.4 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Como sugestões para futuras pesquisas, afim de complementar o modelo de gestão de passivos ambientais rodoviários:

- Aplicar em outros bancos de dados o modelo de gestão, afim de verificar a resposta dos resultados. Recomenda-se realizar a distribuição dos resultados ao longo das faixas dos parâmetros de Abrangência e Magnitude, bem como verificar a necessidade de adicionar mais Possíveis causas e mais Prováveis consequências. Recomenda-se também distribuir os resultados em uma curva de distribuição normal, com o intuito de verificar qual o valor de maior moda e o valor de IP crítico, afim de verificar se a resposta ao novo banco de dados comporta-se de maneira semelhante aos passivos da BR 116.
- Incorporar na análise da Magnitude a consideração da fragilidade ao meio, através de mapas de suscetibilidade. Pois, os passivos tentem a evoluir de forma acentuada ao longo do tempo se a região tem pré-disposição à ocorrência do fenômeno ao qual ele foi classificado. Desse modo, recomenda-se incorporar a análise de suscetibilidade aos processos erosivos, movimentos de massa e subsidência.
- Complementar a classificação de passivos ambientais proposta no estudo em questão com os “passivos de natureza moral, social ou jurídica”.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. S. J.; SANTOS, R. P. **Carta morfodinâmica da Serra do mar na região de Cubatão - SP**. São Paulo, 1991.

ALMEIDA, A. D. C. **Propostas para Estabilização de talude na Rodovia BR-230, km 19**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2016.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE INSTABILIDADE DE ENCOSTAS. **Anais ... ABMS/ABGE**, Rio de Janeiro, v. 2. p. 721-733, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7.182: Solo - Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro, 2016.

ARA, Amilton Braio; MUSETTI, Ana Villares; SCHNEIDERMAN, Boris. **Introdução à estatística**. Editora Blucher, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR. ISO 31000 - Gestão de riscos: Princípios e diretrizes**. Committee Draft of ISO, v. 31000, 2009.

BAPTISTA, A. C. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo**. 376 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. Rio de Janeiro, 2009.

BLASI, G. F. **Proposta de procedimentos para a elaboração de relatórios de controle ambiental visando à regularização ambiental de rodovias federais em operação**. 305 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGECC da Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2014.

BEHLING, A. A. **Fatores condicionantes dos movimentos de massa no município de Agudo/RS**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

BENNETT, H. H. **Soil conservation**. New York, McGraw-Hill, 1939.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. N. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392p.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2013.

BITTENCOURT, H. R.; VIALI, L. Contribuições para o ensino da distribuição normal ou curva de Gauss em cursos de graduação. SIPEM (Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática), 2006.

BRASIL. **Decreto nº 4.340/2002**. Brasília: 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=374>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério dos Transportes (MT). **Portaria interministerial nº 273/2004**. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT). **Sistema de Custos Referencias de Obras (SICRO 2)**. Dados referentes a junho de 2019. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro-2>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.938/1981**. Brasília, DF, 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=374>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério dos Transportes (MT). **Portaria Interministerial nº 423/2011**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0002180310.PDF>>. Acesso em: 06 de abr. de 2018.

BOARDMAN, J.; ROBINSON, D. A. Soil erosion, climatic vagary and agricultural change on the Downs around Lewes and Brighton, autumn 1982. **Applied Geography**, v. 5, n. 3, p. 243–258, 1985.

BONUCCELLI, T. J. **Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosionais com aplicação na área urbana de Ouro Preto (MG) – escala 1:10000**. [s.l.] Escola Estadual de São Carlos, 1999.

BOSCH, D. R. **Interpretação do ensaio pressiométrico em solos coesivo-friccionais através de métodos analíticos**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

BOTSWANA GOVERNAMENT. **Botswana Roads Maintenance Manual (BRMM) – Maintenance Standards for Road and Bridge Works**. Botswana, 2010.

BUREAU OF INDIAN AFFAIRS. Division of Transportation. **BIA Transportation Facilities Maintenance Handbook – 82 IAM**. Washington, D.C. s/a.

CAINE, N. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. **Eografiska annaler: series A, physical geography**, v. 62, n. 1–2, p. 23–27, 1980.

CARVALHO, A. S. P. *et al.* **Manual de Geotecnia–Taludes de Rodovias**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Departamento de Estradas e Rodagem (DER), 1991.

CHIOSSI, N. **Geologia de engenharia**. 3. ed. Oficina de Textos, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CROZIER, M. J. Earthflows and related environmental factors of eastern Otago. **Journal of Hydrology (New Zealand)**, 1968.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslides investigation and mitigation, transportation research board. Landslide types and process, National Research Council, National Academy Press. **Special Report**, v. 247, p. 36–75, 1996.

CRUZ, O. Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba, S.P. **Série teses e monografias Instituto de Geografia –USP**. São Paulo, 1974.

DAS, B. M.; SIVAKUGAN, N. **Fundamentals of geotechnical engineering**. 2016.

DE MOURA, C. A. **Análise Da Suscetibilidade Do Meio Físico a**. São Paulo, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Edital 811/2012 – Contratação de serviços de contagem de tráfego em pontos específicos da malha rodoviária federal**. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Manual para Atividades Ambientais Rodoviárias. IPR, Publ, Rio de Janeiro, n. 730, 2006.

DIRETORIA DE ENGENHARIA (DER). **IP-DE-S00-006: Levantamento e Cadastro de Passivo Ambiental**. São Paulo, 2007.

FARAH, F. **Habitação e encostas**. São Paulo: IPT, 2003.

FENDRICH, R. Erosão urbana. **Seminário Aspectos Sanitários em Bacias Hidrográficas**, p. 1–31, 1988.

FERNANDES, G. **Caracterização geológico-geotécnica e propostas de estabilização da encosta do Morro do Curral – Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

FERREIRA, K. S. M. **Análise hidromecânica de um talude rodoviário composto por solo residual no trecho de serra do mar da br-376/PR**. Monografia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

FIORI, O. C.; SOARES, P. C. Aspectos evolutivos das voçorocas. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 114-124, 1976.

FREIRE, E. S. M. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. **Revista Construção**, Rio de Janeiro, p. 10-18, 1965.

GALLARDO, A. L. C. F. **Análise das práticas de gestão ambiental da construção da pista descendente da Rodovia dos Imigrantes**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2004.

GERSCOVICH, D. **Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 11 abr. 2009.

GOUDIE, A. The human impact on the environment. **Basil Backwell**, 1994.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. DA. **Gemorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 12. ed. Rio de Janeiro, 2013.

GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Bertrand Brasil, 2006.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. O manual de deslizamento: um guia para a compreensão de deslizamentos. U.S. **Geological Survey**, Reston, Virginia, 2008.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 14, n. 1, p. 446–460, 1933.

HUDSON, N. W. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of subtropical rainfall. **Rhodesia Science Association Proceedings**, p. 14–25, 1961.

IBAMA. **Estudo de impacto ambiental**. v. 4, ago. 2008. Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Rodovias/BR%20317%20Boca%20do%20Acre/EI/A/Capitulo%205%20-%20Diagn%F3stico%20Ambiental%20-%205.4%20Passivos%20Ambientais.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

ISO, P. D.; GUIDE, I. E. C. 73: **Risk Management-Vocabulary-Guidelines for Use in Standards**, 2002.

KRONEN, M. A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná. **Boletim Técnico**, v. 30, n. IAPAR, p. 53, 1990.

LAL, R. *et al.* **Soil erosion research methods**. 2. ed. CRC Press, 1994.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 1969.

LE BISSONNAIS, Y.; SINGER, M. J. Seal formation, runoff, and interill erosion from seventeen California soils. **Soil Science Society of America**, v. 57, n. 3, p. 781–784, 1988.

LIMA, R. M. T. **Estudos de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas a inundações na área urbana de Antonina, litoral do Paraná - escala 1:10.000**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2001.

LOPES, L. S. O.; SILVA, A. C.; SILVA, J. C. B. Riscos Geológicos: Eventos de Subsidências no Município de Teresina-Pi. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 19, p. 197–201, 2014.

LUK, S. H. Effect of soil properties on erosion by wash and splash. **Earth Surface Processes**, v. 4, n. 3, p. 241–255, 1979.

MALAFIA, R. M. S. Passivo ambiental: mensuração, responsabilidade, evidencição e obras rodoviárias. SINAOP, 9. Rio de Janeiro, TCE/RJ, 2004.

MASSAD, F. **Obras de terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MEDERO, G. M. **Comportamento de um solo colapsível artificialmente cimentado**. Tese (doutorado) apresentado ao Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2005.

MELO, D. F. M. DE. Comportamento Reológico de Solos Sujeitos a Corridas de Lama por Liquefação Estática. 277f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia, Escola Politécnica da Univerisadade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MILLET, I.; SAATY, T. L. On the relativity of relative measures—accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 121, n.1, 2000.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoearea. **Occasional Paper. National College of Agricultural Engineering (UK)**, v. 4, p. 1973–75, 1977.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. John Wiley & Sons, 2009.

NERY, T. D. **Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo**. p. 160, 2016.

NIEBLE, C. M.; GUIDICINI, G. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2. ed. São Paulo: 1984.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos et al. **Geologia de engenharia**. 1998.

ORTIGÃO, J. A. R.; ZIRLIS, A. C.; PALMEIRA, E. M. Experiência com solo grampeado no Brasil: 1970-1993. **Solos e rochas**, v. 16, n. 4, p. 291-304, 1993.

PIMENTEL, A. *et al.* **Gestão para o licenciamento ambiental de obras rodoviárias: conceitos e procedimentos**. Curitiba: UFPR/ITTI, 2014.

PILÓ, Luís B. et al. **IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. 2013.

PRADEEP, J.; NAIR, V. C. **A scientific approach to prioritizing highway infrastructure investment schemes**. Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 104, p. 932-941, 2013.

PIAGENTINI, P. M.; DA SILVA FAVARETO, A. Instituições para regulação ambiental: o processo de licenciamento ambiental em quatro países produtores de

hidreletricidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. vol. 30. Curitiba, 2014.

PINTO, C. DE S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. [S. l.] Oficina de Textos, 2006.

POESEN, J.; GOVERS, G. A field-scale study on surface sealing and compaction on loam and sandy loam soils. Part II. Impact of soil surface sealing and compaction on water erosion processes. **Assessment of soil surface sealing and crusting**, p. 183–193., 1986.

RIBEIRO, R. S.; BARROSO, E. V.; BORGES, A. F. Determinação da área suscetível a ocorrência de queda/rolamento de blocos utilizando o software PFC--2D no município de Petrópolis (RJ). **Simpósio de Geologia do Sudeste**, v. 11, p. 121, 2009.

RICHTER, G.; NEGENDANK, J. F. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. **Earth Surface Processes**, v. 2, n. 2–3, p. 261–278, 1977.

ROTONDARO, R. G., MIGUEL, P. A. C., FERREIRA, J. J. A. **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro, 2005.

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP). **IP-DE-S00/006**: levantamento e cadastro de passivos ambientais. São Paulo, 2007.
Disponível em:
http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/gestao_ambiental/IP-DE-S00-006_Levantamento_Cadastro_Passivo_Ambiental.pdf. Acesso em: 14 maio 2018.

SAATY, T. L. **Prediction, projection, and forecasting: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games, and sports**. [S. l.]: Kluwer Aca, 1990.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**. v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SALOMÃO, F. DE T.; IWASA, O. Y. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (coord.). **Curso de geologia aplicada aom meio ambiente**. São Paulo: ABGE/IPT, 1995.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental; conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

DOS SANTOS, A. M.; RODRIGUES, I. A. Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química. **Gestão & Produção**. vol. 13, n. 2, p. 223-231, 2006.

SILVA, A. C. *et al.* Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em topossequência de latossolos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1059–1068, 2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Valuing Potential Environmental Liabilities for Managerial Decision-Making: A Review of Available Techniques**, United States Environmental Protection Agency, Office of pollution Prevention and Toxics. Washington, DC, 1996.

TATIZANA, C. et al. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos-Serra do Mar, município de Cubatão. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. p. 225–236, 1987.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soil Mechanics in Engineering Practice**, 1996.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

TRIOLA, M. F. Introdução à Estatística. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2008.

UNIDOS, E. **Glossary of soil science terms**. 2008.

UTAMA, D. N. *et al.* F-multicriteria based decision support system for road repair and maintenance (case study: three areas in Tangerang Selatan, Province Banten, Indonesia). International Journal of Management and Applied Science, v. 2, n. 10, p. 171-175, 2016.

VARNES, D. J. Slope Movement Types and Processes. **Transportation Research Board Special Report**, n. 176, p. 11–33, 1978.

VARNES, D. J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. 1984.

Washington State Department of Transportation – WSDOT. **Maintenance Manual – Maintenance of highways**. Washington, 2019.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285–291, 1958.

WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigation: design and practice**. London: B.T. Batsford, 1974.

WRIGHT, A. C. S.; MILLER, R. B. **Soils of south-west Fiordland**. Government Print, 1952.

World Commission on Environment and Development – WCED. Our Common Future Ed. 42. p.427. World Commission on Environment and Development, Estados Unidos, 1987.

YOUNG, R. A.; MUTCHLER, C. K. Soil movement on irregular slopes. **Water Resources Research**, v. 5, n. 5, p. 1084–1089, 1969.

APÊNDICE 1 – TABELA DE CÁLCULO DO IP

Passivos	Classificação	Risco	Cons.	Abran.	Mag.	Gran.	Int.	Ir	IP
MG 142	Escorregamento rotacional	1,5	3,3	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	4,47
MG 137	Escorregamento rotacional	1,5	3,3	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	4,47
MG 214	Erosão concentrada	1,5	3,3	4,0	5,0	4,5	5,0	3,0	4,42
MG 194	Queda de blocos	1,5	3,3	4,0	5,0	4,5	5,0	3,0	4,42
131 CE	Queda de blocos	1,5	3,3	2,0	5,0	3,5	3,0	4,0	4,37
MG 147	Erosão concentrada	1,5	3,3	2,0	5,0	3,5	5,0	3,0	4,32
MG 38	Erosão concentrada	1,5	2,9	4,0	5,0	4,5	3,0	4,0	4,14
MG 215	Queda de blocos	1,5	3,3	2,0	5,0	3,5	2,0	3,0	4,02
MG 25	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	4,0	3,67
MG 36	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	4,0	3,67
MG 41	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	4,0	3,67
MG 42	Queda de blocos	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	4,0	3,67
127 CE	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	4,0	3,67
116 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,64
114 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,64
112 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,64
305 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,64
61 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,64
57 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,64
307 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,64
MG 46	Erosão concentrada	1,0	3,3	3,0	3,0	3,0	5,0	4,0	3,62
MG 32	Erosão concentrada	1,0	3,3	2,0	3,0	2,5	5,0	4,0	3,57
MG 62	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	5,0	4,5	5,0	3,0	3,52
MG 34	Erosão uniforme	1,0	3,3	3,0	1,0	2,0	5,0	4,0	3,52
73 CE	Erosão concentrada	1,5	2,9	1,0	3,0	2,0	1,0	3,0	3,44
MG 201	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	3,0	3,42
MG 138	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	3,0	3,42
MG 31	Erosão concentrada	1,0	3,3	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,42
MG 52	Erosão concentrada	1,0	3,3	3,0	3,0	3,0	5,0	3,0	3,37
MG 33	Erosão concentrada	1,0	3,3	2,0	3,0	2,5	3,0	4,0	3,37
129 CE	Queda de blocos	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	2,0	4,0	3,37
MG 37	Erosão concentrada	1,5	2,2	1,0	5,0	3,0	2,0	4,0	3,32
130 CE	Queda de blocos	1,0	3,3	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0	3,32
MG 207	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	5,0	4,5	2,0	3,0	3,22
MG 173	Erosão concentrada	1,0	3,3	3,0	5,0	4,0	2,0	3,0	3,17
MG 139	Erosão concentrada	1,0	3,3	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,17
MG 22	Erosão concentrada	1,0	3,3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,17
103 CE	Queda de blocos	1,0	3,3	4,0	3,0	3,5	2,0	3,0	3,12
MG 50	Erosão concentrada	1,5	2,2	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	3,07
97 CE	Erosão uniforme	1,0	3,3	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,07
RS 4	Erosão concentrada	1,0	2,9	3,0	5,0	4,0	3,0	3,0	3,05
111 CE	Erosão concentrada	1,0	3,3	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	3,02
115 CE	Queda de blocos	1,0	3,3	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	3,02

Passivos	Classificação	Risco	Cons.	Abran.	Mag.	Gran.	Int.	Ir	IP
MG 20	Erosão concentrada	1,0	3,3	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	2,97
BA 240	Erosão uniforme	1,0	2,1	4,0	1,0	2,5	5,0	4,0	2,91
BA 284	Erosão concentrada	1,0	2,9	1,0	1,0	1,0	2,0	4,0	2,90
MG 35	Erosão concentrada	1,0	2,2	3,0	5,0	4,0	2,0	4,0	2,81
MG 210	Erosão concentrada	1,0	2,1	4,0	3,0	3,5	5,0	3,0	2,76
MG 40	Erosão concentrada	1,0	2,2	2,0	3,0	2,5	2,0	4,0	2,66
MG 39	Queda de blocos	0,5	3,3	4,0	3,0	3,5	3,0	4,0	2,56
95 CE	Erosão concentrada	1,5	1,7	1,0	3,0	2,0	2,0	3,0	2,55
MG 79	Erosão concentrada	0,5	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	3,0	2,51
MG 66	Erosão concentrada	0,5	3,3	4,0	3,0	3,5	5,0	3,0	2,51
MG 16	Erosão uniforme	1,0	2,5	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	2,48
MG 197	Erosão uniforme	0,5	3,3	3,0	3,0	3,0	5,0	3,0	2,46
MG 135	Erosão concentrada	0,5	3,3	3,0	3,0	3,0	5,0	3,0	2,46
158 BA	Erosão uniforme	1,5	1,2	2,0	3,0	2,5	2,0	4,0	2,44
MG 136	Erosão concentrada	0,5	3,3	2,0	3,0	2,5	5,0	3,0	2,41
MG 24	Erosão concentrada	0,5	3,3	3,0	1,0	2,0	5,0	3,0	2,36
29 CE	Erosão uniforme	1,0	2,1	4,0	3,0	3,5	1,0	3,0	2,36
BA 254	Erosão concentrada	1,0	1,2	5,0	5,0	5,0	1,0	4,0	2,26
MG 28	Erosão concentrada	0,5	2,1	2,0	1,0	1,5	5,0	4,0	2,23
227 BA	Erosão concentrada	1,5	1,0	1,0	3,0	2,0	2,0	4,0	2,23
MG 23	Erosão concentrada	0,5	3,3	4,0	5,0	4,5	1,0	3,0	2,21
MG 43	Queda de blocos	0,5	3,3	1,0	3,0	2,0	1,0	4,0	2,21
178 PE	Erosão uniforme	1,0	1,1	4,0	3,0	3,5	2,0	4,0	2,16
83 CE	Erosão concentrada	1,0	1,7	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	2,14
MG 190	Erosão concentrada	0,5	2,1	3,0	3,0	3,0	5,0	3,0	2,13
MG 204	Erosão uniforme	0,5	3,3	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	2,11
MG 77	Erosão uniforme	0,5	3,3	4,0	1,0	2,5	2,0	3,0	2,11
MG 18	Erosão concentrada	0,5	3,3	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	2,11
85 CE	Erosão concentrada	0,5	3,3	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	2,11
BA 276	Erosão concentrada	1,0	1,0	4,0	3,0	3,5	2,0	4,0	2,10
RS 5	Escorregamento planar	0,5	2,9	4,0	5,0	4,5	1,0	3,0	2,10
MG 202	Erosão concentrada	0,5	3,3	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	2,06
MG 51	Escorregamento rotacional	0,5	3,3	1,0	3,0	2,0	2,0	3,0	2,06
89 CE	Erosão concentrada	0,5	2,9	1,0	5,0	3,0	2,0	3,0	2,05
MG 175	Erosão concentrada	0,5	3,3	2,0	3,0	2,5	1,0	3,0	2,01
126 CE	Erosão concentrada	1,0	0,5	5,0	5,0	5,0	2,0	4,0	1,98
MG 26	Erosão concentrada	1,0	0,4	2,0	3,0	2,5	5,0	4,0	1,97
125 CE	Erosão concentrada	1,0	0,8	5,0	3,0	4,0	1,0	4,0	1,94
BA 277	Erosão concentrada	1,5	0,5	1,0	5,0	3,0	2,0	4,0	1,91
BA 267	Erosão concentrada	0,5	1,2	5,0	1,0	3,0	5,0	3,0	1,88
BA 192	Erosão concentrada	0,5	2,1	4,0	3,0	3,5	2,0	3,0	1,88
BA 257	Erosão concentrada	0,5	1,2	5,0	3,0	4,0	1,0	4,0	1,83
MG 183	Erosão concentrada	0,5	2,1	3,0	5,0	4,0	1,0	3,0	1,83
MG 180	Erosão concentrada	0,5	2,1	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	1,83
MG 145	Erosão concentrada	0,5	2,1	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	1,83

Passivos	Classificação	Risco	Cons.	Abran.	Mag.	Gran.	Int.	Ir	IP
BA 239	Erosão concentrada	0,0	1,0	3,0	3,0	3,0	5,0	4,0	1,80
BA 237	Erosão concentrada	0,0	1,0	5,0	1,0	3,0	5,0	4,0	1,80
BA 220	Erosão concentrada	0,5	2,1	4,0	3,0	3,5	1,0	3,0	1,78
BA 219	Erosão concentrada	0,5	2,1	4,0	3,0	3,5	1,0	3,0	1,78
BA 241	Erosão concentrada	0,5	2,1	4,0	1,0	2,5	2,0	3,0	1,78
152 CE	Erosão concentrada	1,0	0,5	3,0	5,0	4,0	1,0	4,0	1,78
MG 213	Erosão concentrada	0,5	1,4	5,0	3,0	4,0	2,0	3,0	1,74
BA 345	Erosão uniforme	0,5	1,4	4,0	1,0	2,5	1,0	4,0	1,74
BA 290	Erosão concentrada	0,5	1,2	3,0	3,0	3,0	1,0	4,0	1,73
BA 288	Erosão uniforme	0,5	1,0	4,0	1,0	2,5	2,0	4,0	1,73
BA 184	Erosão uniforme	0,0	0,7	4,0	3,0	3,5	1,0	5,0	1,70
BA 264	Erosão concentrada	0,5	0,8	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,67
BA 262	Erosão concentrada	0,5	0,8	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,67
MG 44	Erosão uniforme	0,0	0,4	2,0	1,0	1,5	5,0	4,0	1,65
BA 268	Erosão concentrada	0,5	0,7	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,64
MG 211	Erosão concentrada	0,5	1,4	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	1,64
MG 212	Erosão concentrada	0,5	1,4	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	1,59
106 CE	Erosão concentrada	0,5	1,4	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	1,59
143 CE	Erosão uniforme	0,5	0,4	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,56
BA 238	Erosão concentrada	0,0	1,2	4,0	5,0	4,5	1,0	4,0	1,55
MG 12	Erosão concentrada	0,5	1,6	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	1,54
BA 188	Erosão concentrada	0,5	1,4	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	1,54
MG 48	Erosão uniforme	0,0	0,4	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0	1,50
BA 282	Erosão concentrada	0,0	1,0	5,0	3,0	4,0	1,0	4,0	1,50
BA 274	Erosão concentrada	0,0	0,5	5,0	3,0	4,0	1,0	4,0	1,50
124 PB	Erosão concentrada	0,0	0,6	5,0	3,0	4,0	1,0	4,0	1,50
65 CE	Erosão concentrada	0,5	0,9	5,0	3,0	4,0	1,0	3,0	1,50
102 CE	Erosão concentrada	0,5	0,9	5,0	3,0	4,0	1,0	3,0	1,50
RS 2	Escorregamento planar	0,5	1,4	2,0	3,0	2,5	1,0	3,0	1,49
BA 273	Erosão concentrada	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,48
191 PE	Erosão uniforme	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,48
BA 229	Erosão concentrada	0,0	0,8	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,45
BA 259	Erosão concentrada	0,0	0,5	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,45
BA 256	Erosão concentrada	0,0	1,2	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,45
BA 249	Erosão concentrada	0,0	1,2	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,45
159 BA	Erosão concentrada	0,0	0,3	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,45
146 CE	Erosão uniforme	0,0	0,5	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,45
123 PB	Erosão concentrada	0,0	0,4	4,0	3,0	3,5	1,0	4,0	1,45
MG 27	Erosão concentrada	0,0	0,0	2,0	3,0	2,5	2,0	4,0	1,45
118 CE	Erosão concentrada	0,5	0,7	5,0	3,0	4,0	1,0	3,0	1,44
91 CE	Erosão concentrada	0,5	0,4	4,0	5,0	4,5	1,0	3,0	1,41
BA 230	Erosão concentrada	0,0	0,8	3,0	3,0	3,0	1,0	4,0	1,40
BA 280	Erosão concentrada	0,0	0,5	3,0	3,0	3,0	1,0	4,0	1,40
BA 275	Erosão uniforme	0,0	1,0	5,0	1,0	3,0	1,0	4,0	1,40
BA 291	Erosão concentrada	0,0	0,8	5,0	1,0	3,0	1,0	4,0	1,40

Passivos	Classificação	Risco	Cons.	Abran.	Mag.	Gran.	Int.	Ir	IP
BA 286	Erosão concentrada	0,0	1,0	5,0	1,0	3,0	1,0	4,0	1,40
BA 285	Erosão concentrada	0,0	1,0	5,0	1,0	3,0	1,0	4,0	1,40
121 CE	Erosão concentrada	0,0	0,9	5,0	1,0	3,0	1,0	4,0	1,40
BA 287	Erosão concentrada	0,5	0,3	1,0	3,0	2,0	1,0	4,0	1,38
MG 15	Erosão concentrada	0,5	0,4	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	1,36
MG 17	Erosão concentrada	0,5	1,1	1,0	3,0	2,0	1,0	3,0	1,35
MG 47	Erosão concentrada	0,0	0,4	2,0	3,0	2,5	1,0	4,0	1,35
BA 271	Erosão concentrada	0,0	0,5	4,0	1,0	2,5	1,0	4,0	1,35
BA 298	Erosão uniforme	0,0	0,5	2,0	3,0	2,5	1,0	4,0	1,35
BA 283	Erosão uniforme	0,0	0,5	4,0	1,0	2,5	1,0	4,0	1,35
BA 252	Erosão concentrada	0,0	0,3	4,0	1,0	2,5	1,0	4,0	1,35
156 BA	Erosão concentrada	0,0	0,5	3,0	2,0	2,5	1,0	4,0	1,35
350 BA	Erosão concentrada	0,0	0,5	2,0	3,0	2,5	1,0	4,0	1,35
224 BA	Erosão concentrada	0,0	0,5	2,0	3,0	2,5	1,0	4,0	1,35
200 PE	Erosão concentrada	0,0	0,5	2,0	3,0	2,5	1,0	4,0	1,35
153 BA	Erosão concentrada	0,0	0,5	3,0	1,0	2,0	1,0	4,0	1,30
231 BA	Erosão concentrada	0,0	0,5	2,0	2,0	2,0	1,0	4,0	1,30
122 PB	Erosão uniforme	0,0	0,6	3,0	1,0	2,0	1,0	4,0	1,30
MG 45	Erosão uniforme	0,0	0,4	2,0	1,0	1,5	1,0	4,0	1,25
BA 242	Erosão concentrada	0,0	0,8	2,0	1,0	1,5	1,0	4,0	1,25
BA 292	Erosão uniforme	0,0	1,2	2,0	1,0	1,5	1,0	4,0	1,25
BA 289	Erosão uniforme	0,0	0,3	2,0	1,0	1,5	1,0	4,0	1,25
233 BA	Erosão concentrada	0,0	0,5	2,0	1,0	1,5	1,0	4,0	1,25
225 BA	Erosão concentrada	0,0	0,5	2,0	1,0	1,5	1,0	4,0	1,25
119 CE	Erosão concentrada	0,0	0,9	5,0	3,0	4,0	1,0	3,0	1,25
113 CE	Erosão concentrada	0,0	0,9	5,0	3,0	4,0	1,0	3,0	1,25
BA 160	Erosão concentrada	0,5	0,5	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	1,24
MG 195	Erosão uniforme	0,5	0,4	2,0	1,0	1,5	2,0	3,0	1,21
MG 63	Erosão uniforme	0,5	0,4	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	1,21
BA 161	Erosão concentrada	0,0	1,2	4,0	3,0	3,5	1,0	3,0	1,20
222 PE	Erosão uniforme	0,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,20
206 PE	Erosão uniforme	0,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,20
208 PE	Erosão uniforme	0,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,20
108 CE	Erosão concentrada	0,0	0,7	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	1,20
MG 132	Erosão concentrada	0,0	2,6	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	1,15
MG 75	Erosão concentrada	0,0	1,4	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	1,15
BA 182	Erosão concentrada	0,0	0,5	5,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,15
99 CE	Erosão concentrada	0,0	0,9	5,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,15
MG 199	Erosão uniforme	0,0	1,2	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	1,10
MG 19	Erosão concentrada	0,0	0,0	2,0	3,0	2,5	1,0	3,0	1,10
MG 21	Erosão concentrada	0,0	0,0	3,0	2,0	2,5	1,0	3,0	1,10
109 CE	Erosão concentrada	0,0	0,4	2,0	3,0	2,5	1,0	3,0	1,10
101 CE	Erosão concentrada	0,0	0,9	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	1,10
58 CE	Erosão uniforme	0,0	0,9	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	1,10
105 CE	Queda de blocos	0,0	1,4	4,0	1,0	2,5	1,0	3,0	1,10

Passivos	Classificação	Risco	Cons.	Abran.	Mag.	Gran.	Int.	Ir	IP
MG 64	Erosão uniforme	0,0	0,4	3,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,05
BA 185	Erosão concentrada	0,0	1,5	3,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,05
107 CE	Erosão concentrada	0,0	0,4	1,0	3,0	2,0	1,0	3,0	1,05
90 CE	Erosão concentrada	0,0	0,4	3,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,05
88 CE	Erosão concentrada	0,0	0,4	3,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,05
BA 221	Erosão concentrada	0,0	0,7	2,0	1,0	1,5	1,0	3,0	1,00
81 CE	Erosão concentrada	0,0	0,9	2,0	1,0	1,5	1,0	3,0	1,00
68 CE	Erosão uniforme	0,0	0,9	2,0	1,0	1,5	1,0	3,0	1,00
BA 343	Erosão concentrada	0,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	0,95

APÊNDICE 2 – RANKING DE PRIORIZAÇÃO

Passivos	Classificação	IP		Custo total
MG 142	Escorregamento rotacional	4,47	R\$	2.669.040,00
MG 137	Escorregamento rotacional	4,47	R\$	2.555.024,00
MG 214	Erosão concentrada	4,42	R\$	2.388.852,16
MG 194	Queda de blocos	4,42	R\$	980.220,50
131 CE	Queda de blocos	4,37	R\$	960.950,00
MG 147	Erosão concentrada	4,32	R\$	850.506,20
MG 38	Erosão concentrada	4,14	R\$	12.375,94
MG 215	Queda de blocos	4,02	R\$	414.600,00
MG 25	Erosão concentrada	3,67	R\$	1.364.530,50
MG 42	Queda de blocos	3,67	R\$	427.338,40
MG 41	Erosão concentrada	3,67	R\$	193.438,75
MG 36	Erosão concentrada	3,67	R\$	4.818,32
127 CE	Erosão concentrada	3,67	R\$	31.868,50
114 CE	Erosão concentrada	3,64	R\$	11.513,72
112 CE	Erosão concentrada	3,64	R\$	36.073,85
116 CE	Erosão concentrada	3,64	R\$	10.192,53
305 CE	Erosão concentrada	3,64	R\$	11.082,65
61 CE	Erosão concentrada	3,64	R\$	11.331,98
57 CE	Erosão concentrada	3,64	R\$	11.285,20
307 CE	Erosão concentrada	3,64	R\$	11.305,37
MG 46	Erosão concentrada	3,62	R\$	104.616,00
MG 32	Erosão concentrada	3,57	R\$	47.600,60
MG 62	Erosão concentrada	3,52	R\$	58.284,00
MG 34	Erosão uniforme	3,52	R\$	104.623,20
73 CE	Erosão concentrada	3,44	R\$	11.580,22
MG 201	Erosão concentrada	3,42	R\$	51.313,00
MG 138	Erosão concentrada	3,42	R\$	605.641,20
MG 31	Erosão concentrada	3,42	R\$	84.509,80
MG 52	Erosão concentrada	3,37	R\$	127.676,00
MG 33	Erosão concentrada	3,37	R\$	29.456,00
129 CE	Queda de blocos	3,37	R\$	159.714,50
MG 37	Erosão concentrada	3,32	R\$	14.528,94
130 CE	Queda de blocos	3,32	R\$	122.422,50
MG 207	Erosão concentrada	3,22	R\$	37.549,50
MG 173	Erosão concentrada	3,17	R\$	232.550,89
MG 139	Erosão concentrada	3,17	R\$	197.791,80
MG 22	Erosão concentrada	3,17	R\$	22.429,00
103 CE	Queda de blocos	3,12	R\$	96.570,00
MG 50	Erosão concentrada	3,07	R\$	12.505,39
97 CE	Erosão uniforme	3,07	R\$	12.702,00
RS 2	Escorregamento planar	3,05	R\$	241.850,00
111 CE	Erosão concentrada	3,02	R\$	27.753,46
115 CE	Queda de blocos	3,02	R\$	89.422,50

Passivos	Classificação	IP		Custo total
MG 20	Erosão concentrada	2,97	R\$	35.901,60
BA 240	Erosão uniforme	2,91	R\$	15.580,11
BA 284	Erosão concentrada	2,90	R\$	36.791,75
MG 35	Erosão concentrada	2,81	R\$	241.850,00
MG 210	Erosão concentrada	2,76	R\$	62.920,42
MG 40	Erosão concentrada	2,66	R\$	117.470,00
MG 39	Queda de blocos	2,56	R\$	83.258,78
95 CE	Erosão concentrada	2,55	R\$	3.381,34
MG 79	Erosão concentrada	2,51	R\$	55.374,20
MG 66	Erosão concentrada	2,51	R\$	148.611,00
MG 16	Erosão uniforme	2,48	R\$	60.306,60
MG 197	Erosão uniforme	2,46	R\$	53.946,00
MG 135	Erosão concentrada	2,46	R\$	73.325,40
158 BA	Erosão uniforme	2,44	R\$	9.895,28
MG 136	Erosão concentrada	2,41	R\$	56.893,00
MG 24	Erosão concentrada	2,36	R\$	91.914,00
29 CE	Erosão uniforme	2,36	R\$	54.454,50
BA 254	Erosão concentrada	2,26	R\$	37.759,26
MG 28	Erosão concentrada	2,23	R\$	47.600,60
227 BA	Erosão concentrada	2,23	R\$	10.791,70
MG 23	Erosão concentrada	2,21	R\$	110.352,50
MG 43	Queda de blocos	2,21	R\$	2.418.500,00
178 PE	Erosão uniforme	2,16	R\$	30.414,00
83 CE	Erosão concentrada	2,14	R\$	759,07
MG 190	Erosão concentrada	2,13	R\$	123.196,00
MG 204	Erosão uniforme	2,11	R\$	19.428,00
MG 77	Erosão uniforme	2,11	R\$	96.697,00
MG 18	Erosão concentrada	2,11	R\$	51.709,60
85 CE	Erosão concentrada	2,11	R\$	45.105,00
BA 276	Erosão concentrada	2,10	R\$	12.797,00
RS 4	Erosão concentrada	2,10	R\$	3.381,34
MG 202	Erosão concentrada	2,06	R\$	58.284,00
MG 51	Escorregamento rotacional	2,06	R\$	31.672,00
89 CE	Erosão concentrada	2,05	R\$	12.537,42
MG 175	Erosão concentrada	2,01	R\$	73.118,00
126 CE	Erosão concentrada	1,98	R\$	6.112,48
MG 26	Erosão concentrada	1,97	R\$	70.467,40
125 CE	Erosão concentrada	1,94	R\$	14.806,00
BA 277	Erosão concentrada	1,91	R\$	60.321,45
BA 267	Erosão concentrada	1,88	R\$	37.150,00
BA 192	Erosão concentrada	1,88	R\$	36.791,75
BA 257	Erosão concentrada	1,83	R\$	14.345,80
MG 180	Erosão concentrada	1,83	R\$	146.008,00
MG 183	Erosão concentrada	1,83	R\$	50.065,18
MG 145	Erosão concentrada	1,83	R\$	179.520,00

Passivos	Classificação	IP		Custo total
BA 239	Erosão concentrada	1,80	R\$	20.908,00
BA 237	Erosão concentrada	1,80	R\$	14.676,00
BA 220	Erosão concentrada	1,78	R\$	19.518,34
BA 219	Erosão concentrada	1,78	R\$	36.252,50
BA 241	Erosão concentrada	1,78	R\$	51.188,00
152 CE	Erosão concentrada	1,78	R\$	26.367,00
MG 213	Erosão concentrada	1,74	R\$	74.761,60
BA 345	Erosão uniforme	1,74	R\$	11.835,00
BA 290	Erosão concentrada	1,73	R\$	10.989,40
BA 288	Erosão uniforme	1,73	R\$	30.714,60
BA 184	Erosão uniforme	1,70	R\$	30.714,60
BA 264	Erosão concentrada	1,67	R\$	7.338,93
BA 262	Erosão concentrada	1,67	R\$	10.579,00
MG 44	Erosão uniforme	1,65	R\$	63.000,40
BA 268	Erosão concentrada	1,64	R\$	8.183,24
MG 211	Erosão concentrada	1,64	R\$	143.478,00
MG 212	Erosão concentrada	1,59	R\$	513.226,00
106 CE	Erosão concentrada	1,59	R\$	1.696,00
143 CE	Erosão uniforme	1,56	R\$	16.889,50
BA 238	Erosão concentrada	1,55	R\$	16.795,50
MG 12	Erosão concentrada	1,54	R\$	113.204,80
BA 188	Erosão concentrada	1,54	R\$	28.700,30
MG 48	Erosão uniforme	1,50	R\$	25.006,60
BA 282	Erosão concentrada	1,50	R\$	11.290,80
BA 274	Erosão concentrada	1,50	R\$	17.973,96
124 PB	Erosão concentrada	1,50	R\$	6.926,00
65 CE	Erosão concentrada	1,50	R\$	15.388,00
102 CE	Erosão concentrada	1,50	R\$	6.568,66
RS 5	Escorregamento planar	1,49	R\$	241.850,00
191 PE	Erosão uniforme	1,48	R\$	2.833,52
BA 273	Erosão concentrada	1,48	R\$	17.729,00
159 BA	Erosão concentrada	1,45	R\$	37.850,00
146 CE	Erosão uniforme	1,45	R\$	3.392,00
BA 229	Erosão concentrada	1,45	R\$	21.275,80
BA 249	Erosão concentrada	1,45	R\$	41.028,00
BA 256	Erosão concentrada	1,45	R\$	14.345,80
BA 259	Erosão concentrada	1,45	R\$	16.776,00
123 PB	Erosão concentrada	1,45	R\$	25.554,73
MG 27	Erosão concentrada	1,45	R\$	68.146,00
118 CE	Erosão concentrada	1,44	R\$	10.286,00
91 CE	Erosão concentrada	1,41	R\$	29.950,00
BA 230	Erosão concentrada	1,40	R\$	18.831,00
BA 285	Erosão concentrada	1,40	R\$	9.362,20
BA 286	Erosão concentrada	1,40	R\$	3.540,00
BA 280	Erosão concentrada	1,40	R\$	9.464,55

Passivos	Classificação	IP		Custo total
BA 291	Erosão concentrada	1,40	R\$	25.989,00
BA 275	Erosão uniforme	1,40	R\$	6.379,00
121 CE	Erosão concentrada	1,40	R\$	6.520,00
BA 287	Erosão concentrada	1,38	R\$	7.338,00
MG 15	Erosão concentrada	1,36	R\$	20.531,00
MG 17	Erosão concentrada	1,35	R\$	44.567,60
MG 47	Erosão concentrada	1,35	R\$	27.316,00
224 BA	Erosão concentrada	1,35	R\$	34.018,71
350 BA	Erosão concentrada	1,35	R\$	40.160,00
156 BA	Erosão concentrada	1,35	R\$	14.113,50
200 PE	Erosão concentrada	1,35	R\$	4.627,00
BA 271	Erosão concentrada	1,35	R\$	17.729,00
BA 298	Erosão uniforme	1,35	R\$	324,00
BA 283	Erosão uniforme	1,35	R\$	324,00
BA 252	Erosão concentrada	1,35	R\$	47.953,60
231 BA	Erosão concentrada	1,30	R\$	33.261,27
153 BA	Erosão concentrada	1,30	R\$	9.205,00
122 PB	Erosão uniforme	1,30	R\$	45.945,50
MG 45	Erosão uniforme	1,25	R\$	72.786,00
225 BA	Erosão concentrada	1,25	R\$	24.101,00
233 BA	Erosão concentrada	1,25	R\$	19.945,84
BA 242	Erosão concentrada	1,25	R\$	3.450,27
BA 289	Erosão uniforme	1,25	R\$	8.068,80
BA 292	Erosão uniforme	1,25	R\$	19.722,40
113 CE	Erosão concentrada	1,25	R\$	15.966,00
119 CE	Erosão concentrada	1,25	R\$	7.112,00
BA 160	Erosão concentrada	1,24	R\$	29.856,30
MG 195	Erosão uniforme	1,21	R\$	34.747,00
MG 63	Erosão uniforme	1,21	R\$	94.837,00
222 PE	Erosão uniforme	1,20	R\$	15.952,00
206 PE	Erosão uniforme	1,20	R\$	6.761,00
208 PE	Erosão uniforme	1,20	R\$	4.083,02
BA 161	Erosão concentrada	1,20	R\$	34.992,20
108 CE	Erosão concentrada	1,20	R\$	3.180,00
MG 132	Erosão concentrada	1,15	R\$	16.896,88
MG 75	Erosão concentrada	1,15	R\$	126.766,00
BA 182	Erosão concentrada	1,15	R\$	13.467,00
99 CE	Erosão concentrada	1,15	R\$	1.457,50
MG 199	Erosão uniforme	1,10	R\$	65.385,00
MG 19	Erosão concentrada	1,10	R\$	22.950,00
MG 21	Erosão concentrada	1,10	R\$	81.258,00
109 CE	Erosão concentrada	1,10	R\$	795,00
105 CE	Queda de blocos	1,10	R\$	1.010,76
101 CE	Erosão concentrada	1,10	R\$	5.493,37
58 CE	Erosão uniforme	1,10	R\$	10.554,10

Passivos	Classificação	IP		Custo total
MG 64	Erosão uniforme	1,05	R\$	154.748,00
BA 185	Erosão concentrada	1,05	R\$	36.375,52
107 CE	Erosão concentrada	1,05	R\$	265,00
90 CE	Erosão concentrada	1,05	R\$	1.166,00
88 CE	Erosão concentrada	1,05	R\$	14.842,50
BA 221	Erosão concentrada	1,00	R\$	14.345,80
81 CE	Erosão concentrada	1,00	R\$	181.939,50
68 CE	Erosão uniforme	1,00	R\$	77.382,00
BA 343	Erosão concentrada	0,95	R\$	50.438,60
Custo estimado total			R\$	24.016.788,47

APÊNDICE 3 – FICHA DE REGISTRO

**FICHA DE REGISTRO**

e caracterização de passivos ambientais rodoviários

Nº de Identificação

Data

**Dados do
Segmento rodoviário**

Rodovia

Trecho

Km inicial

Km final

**Caracterização do
Segmento rodoviário**

Largura da faixa de domínio

Lado esq.

Lado dir.

Pista de rolamento

Número de pistas

Pavimento asfáltico

Pavimento de concreto

Não pavimentado

Outros pavimentos

Acostamento

Presença de acostamento



FICHA DE REGISTRO

e caracterização de passivos ambientais rodoviários

Caracterização do Segmento rodoviário

Terceira faixa

Lado direito ☐

Lado esquerdo ☐

Inexistente ☐

Relevo

Plano ☐

Ondulado ☐

Montanhoso ☐

Localização do Passivo Ambiental

Distância ao eixo

Km ponto

Lat. e Long.

Área de ocorrência

Faixa de domínio

Área adjacente

Lado

Esquerdo

Direito



FICHA DE REGISTRO

e caracterização de passivos ambientais rodoviários

Local de ocorrência do Passivo Ambiental

Dentro da faixa de domínio

Fora da faixa de domínio

Classificação do Passivo Ambiental

Físicos e/ou materiais

Processos erosivos

Erosão uniforme

☐

Erosão concentrada

☐

Movimento de massa

Escorregamento rotacional

☐

Escorregamento translacional

☐

Queda de blocos/tombamento

☐

Corrida

☐

Rastejo

☐

Adensamento

☐

Natureza moral, social e/ou jurídica

Contaminação

☐

Ocupação irregular

☐

Falta de vegetação na APP

☐

Estrutura abandonada

☐

Acesso irregular

☐



FICHA DE REGISTRO

e caracterização de passivos ambientais rodoviários

Caracterização do Passivo Ambiental

Análise do risco (R)

Possíveis causas

Deficiência na proteção superficial	<input type="checkbox"/>	Evolução de processos erosivos	<input type="checkbox"/>
Evolução de processos erosivos	<input type="checkbox"/>	Diferentes contatos litológicos	<input type="checkbox"/>
Diferentes contatos litológicos	<input type="checkbox"/>	Descontinuidade do maciço rochoso	<input type="checkbox"/>

Prováveis consequências

Acidentes	<input type="checkbox"/> 1,2	Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento	<input type="checkbox"/> 0,7
Obstrução da pista de rolamento e/ou acostamento	<input type="checkbox"/> 0,7	Indução a problemas geotécnicos	<input type="checkbox"/> 0,7
Indução a problemas geotécnicos	<input type="checkbox"/> 0,7	Interferência em OAE	<input type="checkbox"/> 0,5
Interferência em OAE	<input type="checkbox"/> 0,5	Danos a lindeiros	<input type="checkbox"/> 0,5
Danos a lindeiros	<input type="checkbox"/> 0,5	Comprometimento do sistema de drenagem	<input type="checkbox"/> 0,5
Comprometimento do sistema de drenagem	<input type="checkbox"/> 1,0	Comprometimento do sistema de pavimento	<input type="checkbox"/> 0,3



FICHA DE REGISTRO

e caracterização de passivos ambientais rodoviários

Caracterização do Passivo Ambiental

Análise do risco (R)

Risco	Sem risco 0,0	Potencial 0,5	Eminente 1,0	Instalado 1,5
Risco ao usuário	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Risco ao patrimônio	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Risco ao ambiente	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Análise da grandeza (G)

Abrangência	Valoração	Descrição
Pontual	<input type="text"/> 1,0	Menor que 20% da área que poderia ser afetada
Mediana	<input type="text"/> 2,0	Maior que 20% e menor que 50% da área poderia ser afetada
Preponderante	<input type="text"/> 3,0	Maior que 50% e menor que 70% da área que poderia ser afetada
Total	<input type="text"/> 4,0	Maior que 70% da área a ser afetada, mas contida à faixa de domínio
Superior	<input type="text"/> 5,0	Ultrapassa a faixa de domínio



FICHA DE REGISTRO

e caracterização de passivos ambientais rodoviários

Caracterização do Passivo Ambiental

Análise da grandeza (G)

Magnitude	Valoração	Processos erosivos	Movimentos de massa	Adensamento
Pequena	<input type="text"/> 1,0	Erosão uniforme ou surgimento de sulcos, necessita de pequenos preenchimentos de material e proteção superficial	Pequenos indícios de movimento (pequenos desmoronamentos, fraturas, descontinuidades, vegetação inclinada)	Pequenos deslocamentos, deslocamentos com dificuldade de percepção
Média	<input type="text"/> 3,0	Evolução de sulcos para ravinas, pequenos desmoronamentos	Maciços bem fraturados, indícios de superfície de ruptura, indícios de instabilidade	Deslocamentos perceptíveis que causam problemas e desconforto
Alta	<input type="text"/> 5,0		Início de movimento ou áreas com a superfície de ruptura bem definida	Inoperabilidade

Análise da interferência no tráfego e temporalidade (it)

Interferência no tráfego e temporalidade	Valoração
Não influencia o tráfego ou recuperação rápida interditando uma pista	<input type="text"/> 1,0
Recuperação demorada interditando uma pista	<input type="text"/> 2,0
Recuperação rápida interditando todas as pistas	<input type="text"/> 3,0
Recuperação demorada interditando todas as pistas	<input type="text"/> 4,0

Cálculo do índice de prioridade do Passivo Ambiental

$$IP = 0,55 * R + 0,25 * Ir + 0,10 * G + 0,10 IT$$

IP

* Grandeza = média entre a abrangência e a magnitude



FICHA DE REGISTRO e caracterização de passivos ambientais rodoviários

Croqui

Observações



FICHA DE REGISTRO e caracterização de passivos ambientais rodoviários

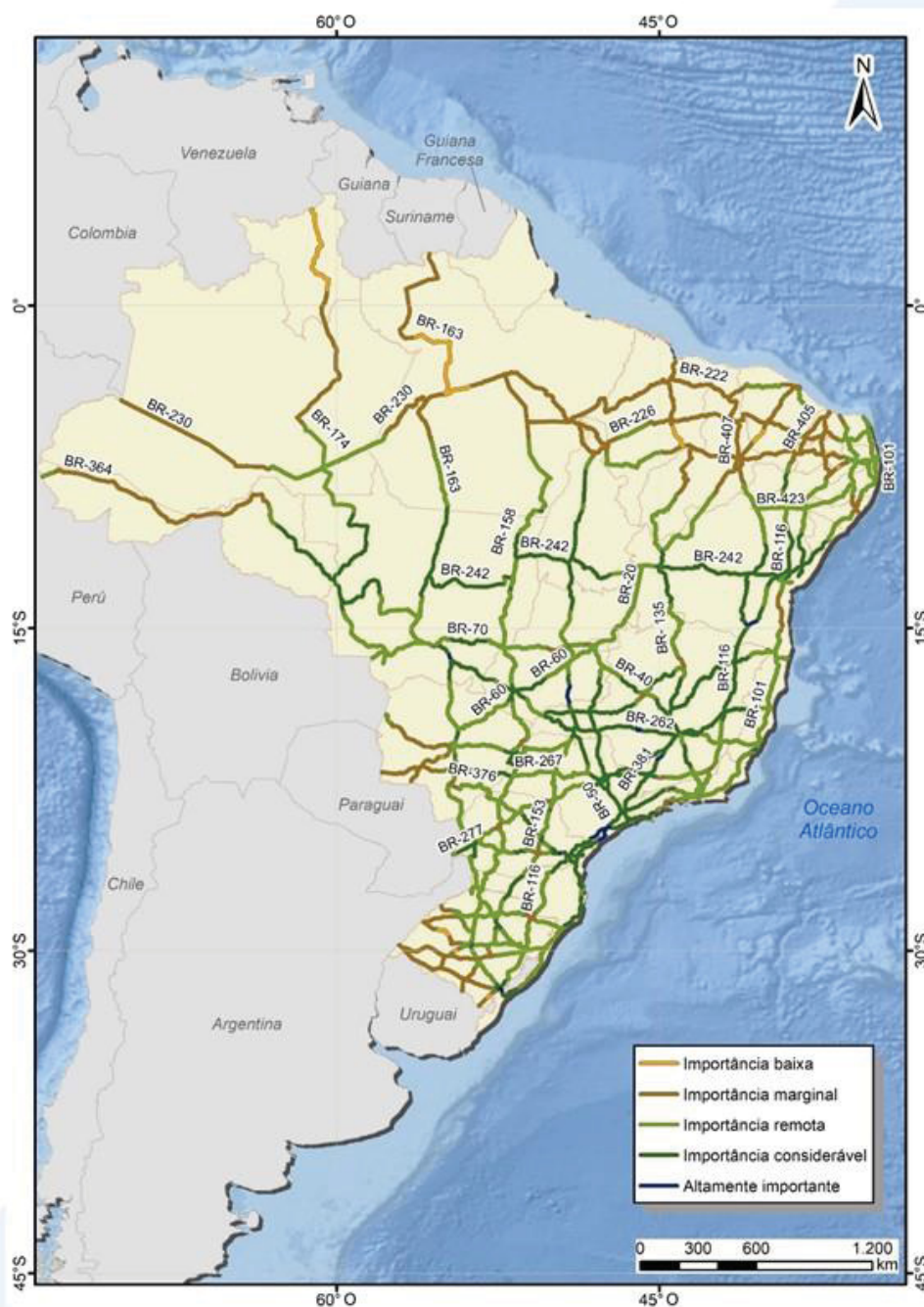
Fotos

Descrição



Apêndice A

Mapa de classificação da importância das rodovias federais



Apêndice B

Mapa de superfícies de extrapolação

